

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ



s-conf.mmi.kpi.ua

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

МАТЕРІАЛИ

ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ

«ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ»

Секція «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Київ
2016

Підписано до друку 15.04.2016р. Формат 60х90/16
Папір офсетний. Друк – різнографія. Наклад 40 прим.

НТУУ "КПІ", ММІ

Міністерство науки і освіти України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Механіко-машинобудівний інститут

МАТЕРІАЛИ

**ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ**

«ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ»

Секція «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Київ
2016

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню», секція «Технологія машинобудування» / Укладач Фролов В.К. – К: НТУУ «КПІ», 2016. – 144 с.

Укладач: Фролов Володимир Костянтинович, к.т.н., доцент
кафедри технології машинобудування НТУУ «КПІ»

За редакцією авторів

ББК 34.5
УДК 621

© Авторський колектив, 2016
© Жук О.Ю., Фролов В.К., логотип, 2016
© НТУУ "КПІ", 2016

УДК 519.237.5: 621.9

Андрусь М.Г., Лапач С.М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: acny@ya.ru, lapach@ukr.netНОРМОВАНІ РОБАСТНІ ПЛАНИ НА ОСНОВІ ЛП_т ЧИСЕЛ

Проблема: Деформований факторний простір при використанні робастних планів на основі псевдовипадкових чисел.

Стан. Робастні плани на основі рівномірно розподілених в багатофакторному просторі ЛП_т чисел мають ряд переваг перед робастними багатофакторними регулярними планами, а саме [1]:

- стійкість (нечутливість основних характеристик) до невеликих змін в значеннях факторів і пропусків експериментів;
- можливість добудови при недостатній кількості дослідів з урахуванням уже проведених;
- одночасно є планами по пошуку оптимуму;
- відсутність сильнозакорельованих ефектів взаємодій;
- можливість побудови моделей довільної складності по степені апроксимуючого поліному.

Разом з тим, в них є ряд недоліків, одним з яких ми і будемо займатись в даній роботі. У вказаних планах фактори ніколи не приймають граничних значень. Тобто, кодований інтервал зміни фактора від 0 до 1, але в планах ЛП_т фактичний інтервал від 0,015625 для першого фактора (0,03125 для інших) до 0,96875. Це для 32 дослідів. У випадку 16 дослідів інтервал зменшується до [0,03125(0,0625); 0,9375]. Це означає, що фактичний інтервал зменшується на 6-10% і не включає граничні точки. Це незручно для дослідника, який вибирає інтервал варіювання фактору, виходячи з певних фізичних міркувань. Приклад плану можна бачити в табл.1 стовбці X1..X3.

Мета. Модифікувати плани ЛП_т чисел до недеформованого одиничного гіперкубу.

Результати досліджень.

Пропонується нормувати існуючі плани ЛП_т чисел так, щоб всі фактори в ньому змінювались в зручному для дослідника інтервалі від 0 до 1, тобто від мінімуму до максимуму. Для цього достатньо виконати перетворення за формулою

$$x_{ji_{\text{норм}}} = \frac{x_{ji} - x_{ji_{\min}}}{x_{ji_{\max}} - x_{ji_{\min}}}$$

В табл.1 представлені фрагменти плану до і після перетворення. Ці перетворення належать до класу афінних (зсув і нормування) і не змінюють структуру розміщення точок у просторі [2]. Це можна бачити з діаграми

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

розсіяння по одному з факторів (рис. 1), де показані початкові точки плану і точки, отримані після перетворення.

Перевірка статистичних властивостей (коефіцієнтів кореляції) показує очікуваний результат: вони не змінюються. Це обґрунтовується властивостями афінного перетворення, при якому кути між прямими в новій системі не змінюються [2]. Оскільки коефіцієнти кореляції не змінюються, то це означає, тотожність статистичних характеристик вихідного і перетвореного плану.

Крім статистичних характеристик для планів на основі ЛП_т чисел велике значення мають геометричні: розміщення координат точок плану в багатофакторному просторі. По жодній з проекцій координати не співпадають, що забезпечує крім статистичних властивостей також одночасне використання цих планів для пошуку оптимальних умов [3, 4].

Таблиця 1. Фрагмент плану експерименту до і після перетворення

№ експ.	X1	X2	X3	X1 _{норм}	X2 _{норм}	X3 _{норм}
1	0,5	0,5	0,5	0,508197	0,5	0,5
2	0,25	0,75	0,25	0,245902	0,766667	0,233333
3	0,75	0,25	0,75	0,770492	0,233333	0,766667
4	0,125	0,625	0,875	0,114754	0,633333	0,9
5	0,625	0,125	0,375	0,639344	0,1	0,366667
6	0,375	0,375	0,625	0,377049	0,366667	0,633333
7	0,875	0,875	0,125	0,901639	0,9	0,1
8	0,0625	0,9375	0,6875	0,04918	0,966667	0,7
9	0,5625	0,4375	0,1875	0,57377	0,433333	0,166667
10	0,3125	0,1875	0,9375	0,311475	0,166667	0,966667
11	0,6875	0,8125	0,8125	0,836066	0,7	0,433333
12	0,4375	0,5625	0,0625	0,180328	0,3	0,3
13	0,9375	0,0625	0,5625	0,704918	0,833333	0,833333
14	0,4375	0,5625	0,0625	0,442623	0,566667	0,033333
15	0,9375	0,0625	0,5625	0,967213	0,033333	0,566667
16	0,03125	0,53125	0,40625	0,016393	0,533333	0,4
...	...	...	...	...	...	...
26	0,34375	0,71875	0,59375	0,344262	0,733333	0,6
27	0,84375	0,21875	0,09375	0,868852	0,2	0,066667
28	0,21875	0,84375	0,21875	0,213115	0,866667	0,2
29	0,71875	0,34375	0,71875	0,737705	0,333333	0,733333
30	0,46875	0,09375	0,46875	0,47541	0,066667	0,466667
31	0,96875	0,59375	0,96875	1	0,6	1
32	0,015625	0,796875	0,953125	0	0,816667	0,983333

Як видно з прикладу, представленому на рис. 1., вказані геометричні властивості зберігаються при запропонованому нормуванні. Враховуючи, що

при перетворенні використовується тільки паралельне перенесення і нормування, то іншого результату не могло бути. В табл.2 представлені вихідні і нормовані стовпчики плану.

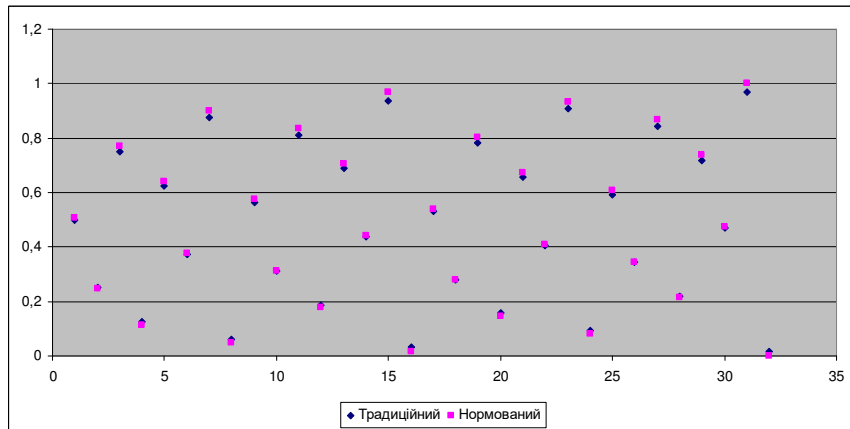


Рис. 1. Діаграма розсіяння одного з факторів плану до і після перетворення

Для реалізації перетворень внесені відповідні зміни в макрос генерації планів програмного засобу ПРИАМ-Ех (планування, регресія і аналіз моделей; версія призначена для роботи в середовищі Excel). При цьому нормування введено як додаткова можливість зі збереженням генерування ненормованих матриць.

Недоліком нових чисел є неточність їх представлення в комп'ютері, так як вони не є степенем двійки на відміну до нормованих.

Висновки і рекомендації.

Для усунення недоліків робастних планів на основі ЛП, які полягають в відсутності граничних точок інтервалу варіювання кожного фактору і фактичне зменшення цього інтервалу на 6–10%, пропонується просте перетворення цих планів, яке робить їх більш зручними для дослідника і не змінює їх властивостей: ні геометричних, ні статистичних в зв'язку з властивостями афінного перетворення.

Список використаних джерел:

1. Лапач С.Н., Пасечник М.Ф., Чубенко А.В. Статистические методы в фармакологии и маркетинге фармацевтического рынка – К.: 1999, ЗАТ "Укрспецмонтаж" – 312с.
2. Віктор Порев Комп'ютерна графіка. – К.: Корнійчук, 2000. –256с.
3. Соболев И.М. Точки, равномерно заполняющие многомерный куб. –М.: Знание, 1985.–32с.
4. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 111с.

УДК 519.237.5: 621.9

Артёмов А.О., Лапач С.М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: aaaa159852@gmail.com, lapach@ukr.net

АПРОКСИМАЦІЯ ШВИДКОЗМІННИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

Проблема: Неможливість задовільної апроксимації швидкозмінних функцій при малій кількості рівнів варіювання в експерименті.

Стан. При апроксимації, як правило, опираються на теорему Веєрштрассе. Неперіодичну функцію можливо апроксимувати поліномом степені не вище $n-1$, де n – кількість точок апроксимації. В зв'язку з тим, що ці теореми належать до таких, які виконуються в ідеалі при параметрах, які наближаються до нескінченності, при практичному застосуванні можуть виникнути проблеми. Так, реальна «нескінченність», досягається досить швидко, але не завжди в реальних умовах. Особливі проблеми це може викликати при побудові регресійних моделей. На жаль, інформація про це можна знайти в дуже обмеженому списку літератури [1–3]. Таким чином виникає необхідність ознайомлення з такими ситуаціями дослідників і інженерів, оскільки необхідність в апроксимації в їх роботі виникає досить часто.

Мета. Інформування дослідників про існування обмежень при апроксимації швидкозмінних функцій і формування рекомендацій для таких ситуацій.

Результати досліджень.

Оскільки вказані вище ситуації виникають при апроксимації так званих швидкозмінних функцій, розглянемо їх на прикладі апроксимації експоненти, в даному прикладі функції $e^{x/2}$.

На рис. 1 представлений графік вихідної експоненти і графіки апроксимуючих поліномів третьої і шостої степені.

Як видно з рис.1. графік поліному шостої степені практично зливається з графіком експоненти, на відміну від графіку поліному третьої степені, що коливається між точками апроксимації. В складних багатофакторних моделях з наявністю взаємодій відхилення між точками апроксимації може досягати сотень і тисяч процентів. Інтерполяція за такими моделями не має сенсу.

Звернемо увагу, що для поліному шостої степені достатньо семи рівнів варіювання. Але з другого боку пересічний експериментатор зазвичай не використовує більше трьох рівнів в експерименті.

В табл.1 показано зростання точності апроксимації при збільшенні степені поліному. При цьому поліном степені три був побудований всього за 4 точками (10, 15, 20, 23), а всі інші за усіма точками вибірки. Останні два рядки таблиці показують середнє абсолютне відхилення в % і на півширину довірчого інтервалу для проценту відхилення.

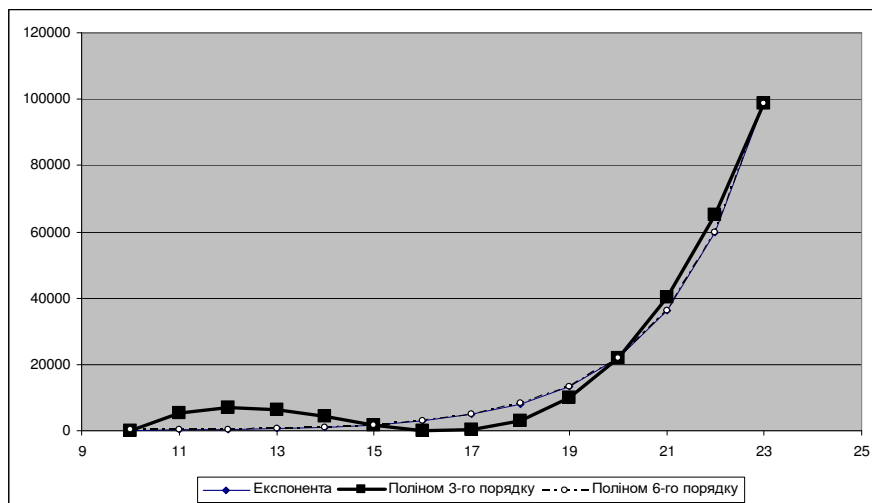


Рис. 1. Графіки вихідної функції і апроксимації

Поліном третьої степені точно проходить через точки апроксимації, але відхилення між ними досягають тисяч процентів.

Таблиця 1. Точність апроксимації: відхилення від значення функції (в %).

Значення аргументу	Степінь поліному				
	3	4	5	6	7
10	0,00	534,35	-94,85	12,51	-1,23
11	2113,72	-378,04	121,01	-24,25	3,31
12	1671,50	-202,68	10,98	7,95	-2,55
13	863,48	-3,27	-30,76	7,27	-0,30
14	289,57	63,54	-19,23	-0,43	0,80
15	0,00	51,21	-1,16	-2,70	0,26
16	-97,11	19,45	6,30	-1,17	-0,22
17	-96,40	-3,03	4,94	0,41	-0,17
18	-61,12	-10,65	1,03	0,69	0,03
19	-24,57	-8,16	-1,36	0,18	0,08
20	0,00	-2,21	-1,38	-0,23	0,00
21	10,34	2,25	-0,12	-0,15	-0,04
22	9,02	2,76	0,72	0,13	0,02
23	0,00	-1,13	-0,18	-0,02	0,00
Середнє абсолютне	374,06	91,62	21,00	4,15	0,64
Напівширина дов. інтервалу	360,45	87,08	20,01	3,64	0,54

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

При збільшенні степені до 6 отримуємо задовільну точність, а до 7 – високу. Характерною ознакою є нерівномірність точності апроксимації в діапазоні зміни функції. Звертаємо увагу, що на рис.1 лінія експонента практично не відрізняється від поліному 6-ї степені, а з табл. 1 видно, що поліном 7-ї практично повністю з нею співпадає.

Висновки і рекомендації.

При апроксимації функцій, які швидко змінюються (логарифм, експонента тощо) при малій кількості рівнів варіювання виникає наступна ситуація: в точках апроксимації досягається висока точність апроксимації, а при інтерполяції в проміжках – точність вкрай незадовільна. Зауважимо, що під малою кількістю рівнів варіювання мається на увазі 4–5, що для багатфакторного експерименту взагалі-то є великою кількістю.

Визначення наявності проблеми постфактум.

Для того, щоб цю ситуацію (велике відхилення від апроксимованої залежності між точками апроксимації) не пропустити, необхідно виконати розрахунок чи побудувати графіки інтерполяції між точками апроксимації. При наявності сучасних програмних засобів це не викликає великих проблем.

Попередження проблеми.

Забезпечити задовільну інтерполяцію для таких функцій можливо одночасно збільшуючи кількість точок апроксимації і степінь апроксимуючого полінома. Ці параметри взаємопов'язані, оскільки степінь поліному не може бути вище, ніж кількість точок апроксимації мінус одиниця. Фактична кількість точок і степінь залежить від особливостей функції, яку апроксимують. Головним є степінь поліному. Як правило, вона не перевищує 5–6. Разом з тим, кількість точок апроксимації незалежно збільшує її точність, хоча це збільшення мале порівняно зі збільшенням точності за рахунок підвищення степені. Використання робастних планів на основі ЛП_с чисел [3] дозволяє запобігти проблемі, яка розглядається, оскільки число рівнів варіювання в такому плані обмежено зверху тільки кількістю експериментів у плані і фізичними можливостями при проведенні експерименту.

Усунення при неможливості попередження.

Коли достатня кількість рівнів неможлива в зв'язку з умовами проведення експериментальних досліджень необхідна заміна в лінійній регресії відповідного елементу $x'_i = f(x_i)$. Заміна не впливає на технологію побудови моделі і її аналіз, але дозволяє виконати апроксимацію з можливістю інтерполяції. Недоліком є необхідність визначити формулу перетворення і додаткові розрахунки при проведенні будь яких обчислень за цією моделлю.

Список використаних джерел:

1. Калиткин Н.Н. Численные методы – М.: Наука, 1978. – 512с.
2. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 472с.
3. Лапач С.Н., Пасечник М.Ф., Чубенко А.В. Статистические методы в фармакологии и маркетинге фармацевтического рынка – К.: 1999, ЗАТ “Укрспецмонтаж” – 312с.

УДК 621; 519-6; 51-3

Артьомов А.О., наук. кер. Фролов В.К., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: aaaa159852@gmail.com, v.k.frolov@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЧИСЛЕНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОБРОБЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ

Пружно-жорсткісні характеристики вузлів обладнання безпосередньо впливають на якість технологічного процесу механічного оброблення. Номінальні характеристики приводяться в паспортних даних обладнання, але істинні їх значення для конкретної технологічної обробляючої системи (ТОС) не відповідають паспортним даним через зношування вузлів обладнання під час експлуатації.

Визначення пружно-жорсткісних характеристик ТОС можливе експериментальним шляхом. Для токарної системи відомо декілька способів експериментального визначення пружних переміщень її вузлів: спосіб ступінчастого обточування, реального навантаження, обточування із зустрічними проходами, порівняння заданої та фактичної глибин різання [1]. Найбільш точним є спосіб ступінчастого різання з подальшим визначенням перепаду діаметрів оброблюваних поверхонь. Цей спосіб використовується, зокрема, в одній із лабораторних робіт з дисципліни «Технологія машинобудування».

Розрахунок пружно-жорсткісних характеристик ТОС за отриманими експериментальними даними без відповідного програмного забезпечення є громіздким, малопроодуктивним та не гарантує відсутності помилок.

Метою даної роботи є автоматизація процесу розрахунків при визначенні пружно-жорсткісних характеристик ТОС.

Пропонується виконувати такі розрахунки за допомогою програмного продукту, розробленого з використанням мови C#. Програма забезпечує наочність процесу оброблення, має простий та зрозумілий інтерфейс і гарантує достовірність результатів розрахунків.

Ключем для початку роботи комп'ютерної програми «Rigidity of Technological Processing System» є введені студентом прізвище та номер групи, що виключає можливість обміну результатами розрахунків між користувачами-студентами.

Для демонстрації процесу оброблення в програмному продукті передбачена анімація (рис. 1), після завершення якої з'являються відповідні елементи інтерфейсу (рис. 2) для введення користувачем геометричних параметрів заготовки та різальної частини інструменту, фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, значень елементів режиму оброблення та експериментальних даних – діаметрів оброблюваних поверхонь.

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

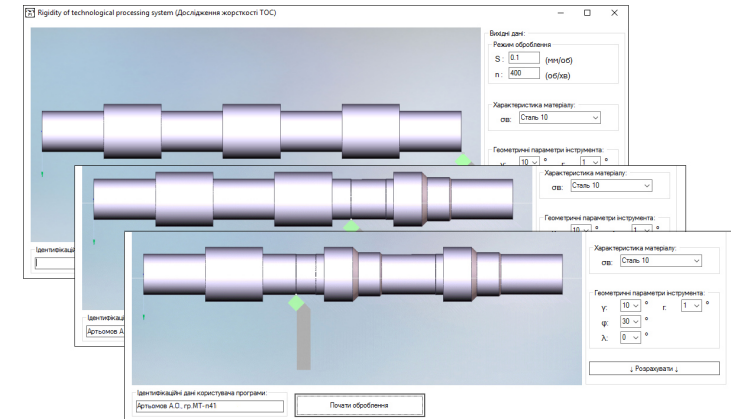


Рис. 1. Анімація процесу оброблення ступінчастого вала

Результатами розрахунків введених вихідних даних є: максимальна деформація та жорсткість заготовки, пружна деформація системи, радіальна складова сили різання, жорсткість та піддатливість системи, жорсткість та піддатливість вузлів верстата. Обчислюється також максимальна похибка оброблення та проводиться оцінка стану вузлів верстата. Результати виводяться в окремому вікні (рис. 3) після натискання кнопки «Чисельні значення пружно-жорсткісних параметрів ТОС».

Крім цього, будується графік залежності деформації ТОС від відстані оброблюваної ділянки до патрона. Графік виводиться в окремому вікні (рис. 4) після натискання кнопки «Графік деформацій ТОС».

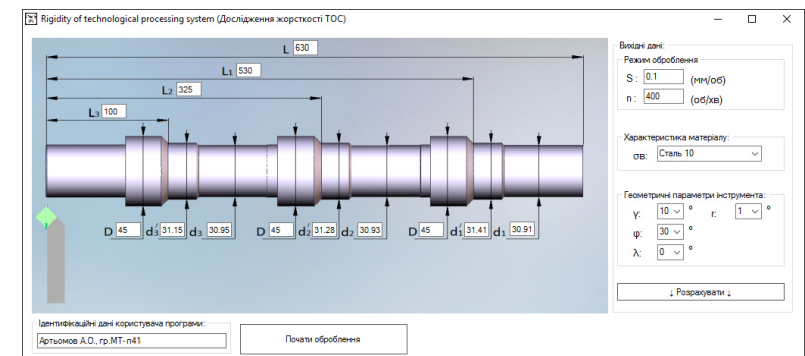


Рис. 2. Інтерфейс головного вікна програми «Rigidity of Technological Processing System»

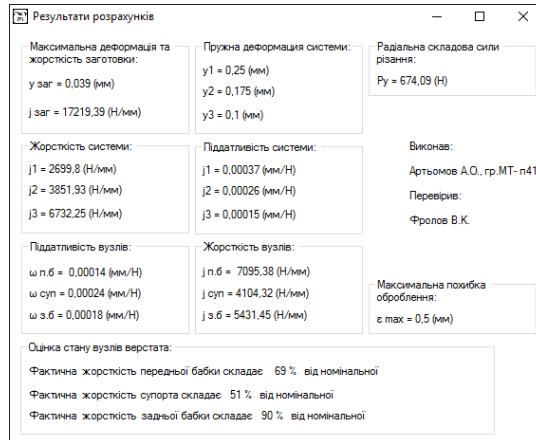


Рис. 3. Інтерфейс вікна з результатами розрахунків

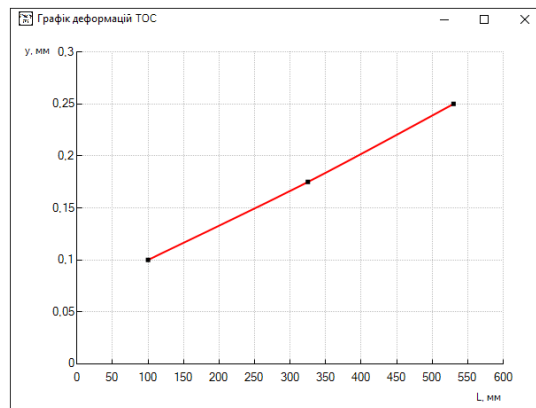


Рис. 4. Графік деформацій ТОС

Програму впроваджено в навчальний процес. Вона використовується при обчисленні результатів лабораторної роботи з дисципліни «Технологія машинобудування».

Список використаних джерел:

1. Скраган В.А., Амосов И.С., Смирнов А.А. Лабораторные работы по технологии машиностроения. Учебное пособие для студентов вузов по курсу «Технология машиностроения». Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1974. – 192 с.

УДК 621.941.005

Астапович А.С., наук. кер. Войтенко В.І., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: V.Voitenko@inbox.ru

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ДІАМЕТРА ФРЕЗИ ПРИ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Подано результати моделювання впливу діаметра фрези на собівартість при торцевому фрезеруванні на верстаті HAAS_EC-300. Значення діаметра фрези задавались в діапазоні від 160 до 630 мм.

Використовуючи САПР ТП «Sapг_2014» [1,2], виконувалось моделювання впливу діаметра торцевої фрези на трудомісткість ($t_{осн}$, хв), витрати енергії (A , грн) та на собівартість виконання переходу (C , грн). Далі подано лістинг фрагмента файлу Text.txt (робочого варіанту ТП) з результатами проектування при використанні фрез від $\varnothing 160$ мм до $\varnothing 630$ мм, також скріншот (рис. 1.) при проектуванні фрезерування фрезою $\varnothing 160$ мм та діаграми одержаних залежностей. Матеріал деталі Сталь 45, розміри поверхні $B=120$ мм, $L=500$ мм, глибина різання $t=5$ мм, виконуваний розмір 100 мм, вимоги до шорсткості поверхні - $Ra\ 6,3$ мкм.

Фрагмент лістинга файлу «Text.txt»

В,"4230 Програмна . ИОТ 68"
 Д,"Багатоцільовий верстат HAAS_EC-300"
 * Площина ($B=120$, $L=500$)
 * Етап= E2
 О,"Фрезерувати поверхню ($B=120$, $L=500$), забезпечуючи розмір 100(-0.870), $Ra\ 6.30$ "
 Т,"2214-0373 Фреза торцева ф 160, $z=16$, T5K10, ТУ2 2-035-910-83"
 Р," $b=120.0$ мм, $t=5.00$ мм, $S=731.0$ мм/хв, $V=191.9$ м/хв,"
 Р," $n=382$ об/хв," $N_{рез}=14.423$ кВт, $A=10.606$ кВт*хв"
 Е," $L_{sum}=537,6$ мм, $T_{осн}=0,74$ хв; $C=2,58$ грн."
 * Площина ($B=120$, $L=500$)
 * Етап= E2
 О,"Фрезерувати поверхню ($B=120$, $L=500$), забезпечуючи розмір 100(-0.870), $Ra\ 6.30$ "
 Т,"2214-0374 Фреза торцева ф 200, $z=20$, T5K10, ТУ2 2-035-910-83"
 Р," $b=120.0$ мм, $t=5.00$ мм, $S=823.0$ мм/хв, $V=198.2$ м/хв,"
 Р," $n=315$ об/хв," $N_{рез}=11.647$ кВт, $A=7.502$ кВт*хв"
 Е," $L_{sum}=530,1$ мм, $T_{осн}=0,64$ хв; $C=2,64$ грн."
 * Площина ($B=120$, $L=500$)

* Eтар= E2

O,"Фрезерувати поверхню (B= 120, L=500), забезпечуючи розмір 100(-0.870), Ra 6.30"

T,"2214-0375 Фреза торцева ф 250, z= 24 , T5K10, TY2 2-035-910-83"

P,"b= 120.0 мм, t= 5.00 мм, S= 891.0 мм/хв, V= 204.6 м/хв,"

R," n= 260 об/хв," N рез.= 9.416 кВт, A= 5.550 кВт*хв"

E," Lsum = 525,2 мм, Tосн= 0,59хв; C= 2,49 грн."

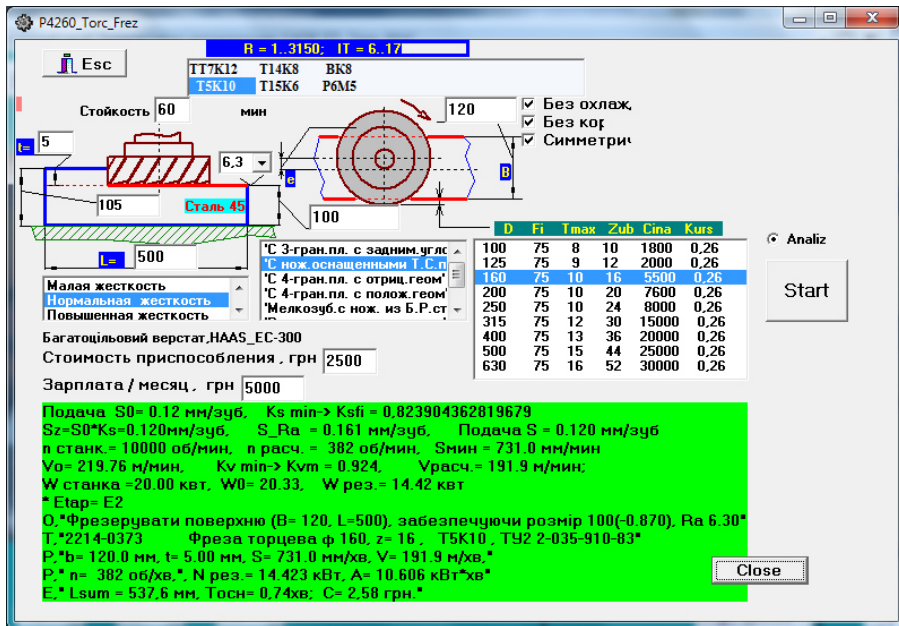


Рис. 1. Скріншот при моделюванні роботи фрези Ø160мм в програмному засобі «Sapг_2014»

Далі наведено фрагмент лістингу файлу "Sobivartis.txt" (діаметр фрези Ø160) і діаграма (рис. 2), що відображає значення складових собівартості переходу.

Фрагмент лістинга файлу "Sobivartis.txt"

Ø160 фрези T осн= 0,74 хв;

Ставка= 5000 грн; Зарплата основна = 0,35 грн; Зарплата додаткова=0,00 грн;

Зарплата повна= 0,35 грн;

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

Ціна інструмента= 1650,00 грн; Норматив на заточку= 5 хв; Кількість переточок= 20;

Витрати на інструмент= 1,16 грн;

Вартість верстата= 2524875,00 грн; Амортизаційні витрати= 1,04 грн;

Витрати на ремонт= 0,01 грн;

Потужність верстата= 20,00 кВт; Потужність різання= 14,42 кВт;

Витрати на електроенергію= 0,00965 грн;

Вартість пристрою= 2500,00 грн; Витрати на пристрій= 0,01 грн;

Собівартість переходу= 2,58 грн;

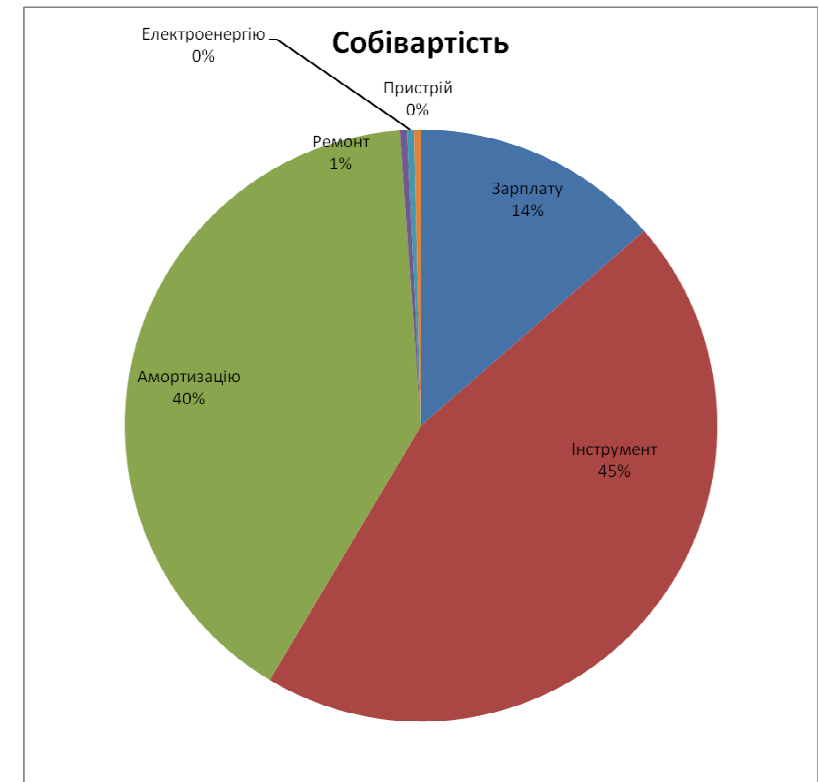


Рис. 2. Структура собівартості при використанні фрези Ø160мм.

На рис. 3 наведена діаграма залежностей собівартості переходу, основної складової норми часу, витрат на зарплату, інструмент, амортизацію і на електроенергію від заданого діаметра фрези в діапазоні Ø160 – Ø630мм.

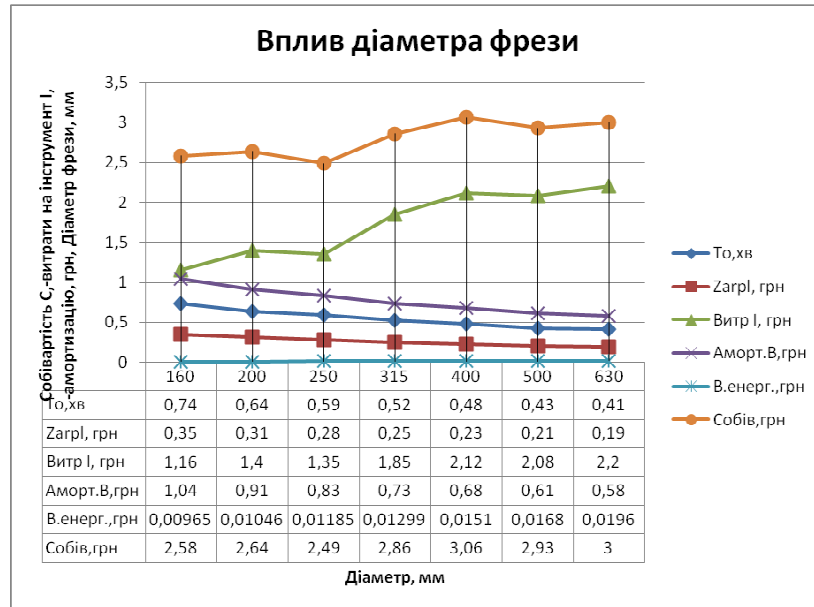


Рис. 3. Діаграма залежностей собівартості переходу та основної складової норми часу та складових собівартості - витрат на зарплату, на ріжучий інструмент, амортизацію, електроенергію від заданої стійкості різця

Результати аналізу свідчать, що збільшення діаметру фрези сприяє збільшенню швидкості різання. Тому наявне зменшення трудомісткості обробки. Натомість потужність різання зменшується, але витрати на електроенергію практично не змінюються, бо зменшується час обробки. Помітно впливає на собівартість вартість фрези яка значно зростає з її діаметром. Витрати на інструмент зростають і стають основними в структурі собівартості і, як результат – зростає собівартість переходу. Витрати на амортизацію при цьому будуть зменшуватись як і трудомісткість. В межах дослідження найменша собівартість була при застосуванні фрези $\varnothing 250$ мм.

Список використаних джерел:

- В.І. Войтенко. Програмний продукт „Система автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки SAPR_2014” (“SAPR_2014”). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 54522. від 30.04.2014. Державна служба інтелектуальної власності України. Бюлетень. "Авторське право та суміжні права" № 33.
- Система автоматизованого проектування технологічних процесів машинобудування : навч. посіб. / Войтенко В.І. - К.: НТУУ „КПІ”, 2012. -232 с. –Гриф МОНМС України від 21.02.2012р.

УДК 621.941.005

Бевз П.В., наук. кер. Радченко С.Г. д.т.н., професор

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: pavlik143@gmail.com

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ НАРІЗАННЯ ЗОВНІШНІХ РІЗЬБ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ

На показники якості зовнішніх різьб (шорсткість та точність поверхні витка) впливає три види факторів:

- Швидкозмінні фактори – багаторазово змінюють своє значення за час переходу технологічної операції нарізання різьби.
- Середньозмінні фактори – змінюють своє значення за час який приблизно дорівнює часу технологічної операції.
- Повільнозмінні фактори – змінюють своє значення за час що необхідний для переналадки головки або переточками гребінок.

Значний вплив на точність зовнішніх різьб мають наступні змінні:

- Величина перевищення різучої кромки a_i . При маленьких (до 0,4...0,5 мм) та великих (більше 0,8 мм) перевищеннях a_i процес різання не стабільний і спостерігається значне розсіювання величин сил різання та розмірів середнього діаметру різьби. Вплив перевищення a_i на точність витків більш помітний на різьбах з великим кроком, оскільки збільшується довжина ріжучих і зменшується довжина калібруючих кромок гребінки.
- Кут нахилу різучої кромки λ . При невеликих значеннях якого призводить до коливань сил різання та точності різьби. Якщо кут λ має великі значення то зростає розсіювання сил різання та середніх діаметрів нарізованих різьб.
- Передній кут γ . Найбільш раціональними значеннями вважаються 15...20°. При таких значеннях розсіювання середнього діаметру зменшується на 30...40%, а сили різання у два рази [1].

Надалі будемо використовувати наступні позначення:

y_{qji} – середній діаметр різьби для q – тої партії, j – тої деталі та i – того виміру.

$\bar{y}_{qj}$ – середнє значення середнього діаметру різьби для qj – тої деталі.

$\bar{y}_q$ – середнє значення середнього діаметру різьби для деталей q – тої партії.

Точкова діаграма впливу трьох груп факторів на якість виробів q – тої партії представлена на рис. 1.

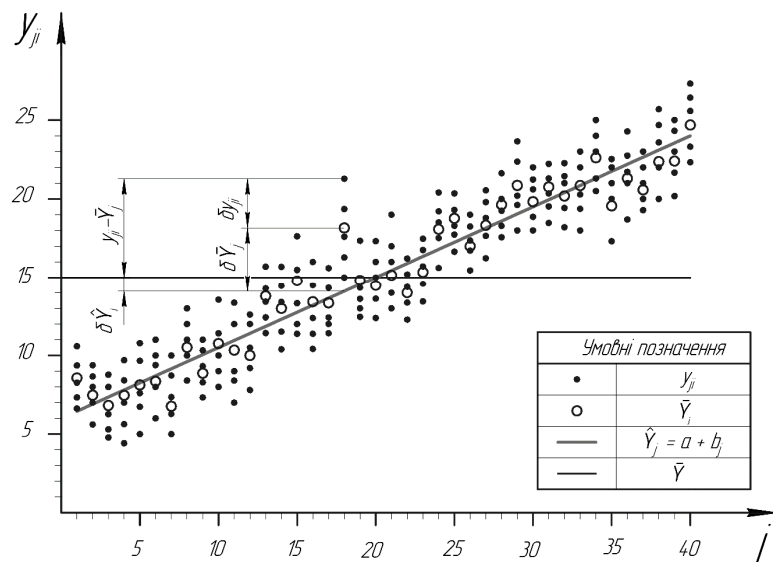


Рис. 1. Точкова діаграма впливу трьох факторів на характеристику якості виробів у партії

Математична модель відхилення виміру середнього діаметра різьби від середнього значення середнього діаметра різьби для q-тої деталі має наступний вигляд:

$$y_{qjl} - \bar{Y}_q = \delta \hat{Y}_{qj} + \delta \bar{Y}_{qj} + \delta y_{qjl} \quad (1)$$

δy_{qjl} — відхилення поточного виміру від середнього по деталі (швидкозмінний фактор).

$\delta \bar{Y}_{qj}$ — відхилення середнього по деталі від середнього по деталям (середньозмінний фактор).

$\delta \hat{Y}_{qj}$ — відхилення середнього по деталям від середнього по партії (повільнозмінний фактор).

Усі вказані вище фактори є випадковими величинами, для кожної партії, і мають закон розподілу близький до нормального.

Якщо у виразі (1) замінити відхилення замінити на різницю між фактичним і середнім значеннями, тоді отримаємо наступні тотожності:

$$y_{qjl} - \bar{Y}_q = (\hat{Y}_{qj} - \bar{Y}_q) + (\bar{Y}_{qj} - \hat{Y}_{qj}) + (y_{qjl} - \bar{Y}_{qj}) \quad (2)$$

Проведемо дисперсійний аналіз відхилень $\delta \bar{Y}_{qj}$ та δy_{qjl} . Перетворимо тотожність (2) і шляхом віднімання систематичного відхилення $\delta \hat{Y}_{qj}$, піднесення до квадрату обох частин (2) та додавання по l та j отримаємо суми квадратів відхилення, які представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Дисперсійний аналіз точкової діаграми для партії виробів

Джерело мінливості	Кількість ступенів вільності	Сума квадратів	Середній квадрат (дисперсія)	Компоненти генеральних дисперсій
Група швидкозмінних факторів	$m(n-1)$	$SS_1 = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^n (y_{jl} - \bar{Y}_j)^2 = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^n y_{jl}^2 - \frac{\sum_{j=1}^m (\sum_{l=1}^n y_{jl})^2}{n}$	$S_1^2 = \frac{SS_1}{m(n-1)}$	σ_δ^2
Група середньозмінних факторів	$m-k-1$	$SS_2 = n \sum_{j=1}^m (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (\sum_{l=1}^n y_{jl})^2}{n} - n \sum_{j=1}^m \bar{Y}_j^2$	$S_2^2 = \frac{SS_2}{m-k-1}$	$n\sigma_c^2 + \sigma_\delta^2$
Сума	$mn-k-1$	$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^n (y_{jl} - \bar{Y})^2 = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^n y_{jl}^2 - n \sum_{j=1}^m \bar{Y}_j^2$		

Розрахунок кожної суми по другому виразу має більше число точних цифр ніж по першому при однаковій кількості значущих цифр для вихідних результатів [2].

Висновок: використовуючи аналіз точкової діаграми можна оцінити значимість впливу груп повільно- та середньозмінних факторів на фоні розсіювання показника якості виробу за рахунок швидкозмінних факторів. Отримані в результаті характеристики дозволяють встановити основні джерела розсіювання показника якості що вивчається і після проведення оптимізації порівняти з метою встановлення ефективності.

Список використаних джерел:

1. «Прогрессивные методы резьбоформирования» Таурит Г.Е., Пуховський Є.С., Добрянський С.С. «Техніка», 1975. – 240с.
2. «Исследование точности процесса нарезания наружных резьб самораскрывающимися головками» Радченко С.Г., Київ -1976.

УДК 621.992.7

Бублій С. Ю., наук. кер. Бецо Ю. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: betsko.uri@gmail.com

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДВОПЛЕЧЕВОГО ПОВІДКОВОГО ХОМУТИКА

Алмазне точіння та кругле шліфування шийок валів є, як правило, остаточним обробленням, на цьому етапі формуються експлуатаційні характеристики валів. Похибки, що виникають при тонкому точінні та шліфуванні мають значний вплив на експлуатаційні характеристики вузла вцілому. При установці на шийці вала, яка має відхилення від круглості, відповідних зв'язаних деталей, характеристики контакту, а значить, і контактна жорсткість по довжині кола мають різні характеристики. Це призводить, наприклад, до нерівномірних відтискань вузлів при навантаженні, виникнення вібрацій, нерівномірного зношення та ін.

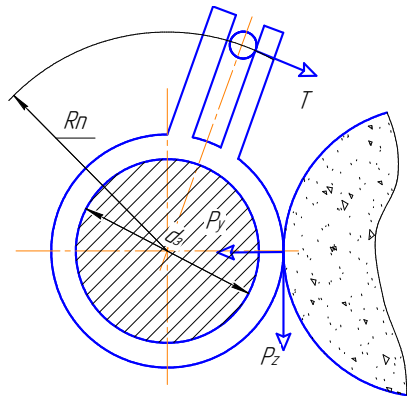


Рис. 1. Схема дії сил в повідковому пристрої

Найпоширеніший спосіб установки заготовки при викінчувальному обробленні – установка в центрах з використанням повідкових патронів. При обробленні валів на верстатах з використанням повідкових пристроїв виникає похибка форми шийок вала в поперечному перерізі. Ця похибка з'являється внаслідок того, що крутний момент, який протидіє моменту тангенціальної складової сили різання P_z , поводить передає на односторонній хомутик зосередженою силою T , яка змінює своє кутове положення з частотою обертання заготовки. При цьому, внаслідок нежорсткості технологічної системи, виникають пружні деформації, величина яких змінюється з тою ж

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

частотою. Ця деформація стає причиною ексцентриситету та похибки форми оброблених поверхонь. Причому, величина цього ексцентриситету змінюється вздовж вісі заготовки. Максимального значення він набуває біля хомутика та практично дорівнює нулю біля заднього центру.

Для знаходження величин цих похибок були проведені віртуальні експерименти. Було створено розрахункову модель, за допомогою якої можна дослідити величину пружних деформацій при певних режимах різання. Дослідження проводились на тривимірній моделі конкретної заготовки (рис. 2). Певну величину жорсткості шпиндельного вузла імітує передній центр підбором геометричних параметрів консольної балки, аналогічно підбираємо жорсткість заднього центру. Досліджували величини прогину вала при послідовній зміні кутового положення повідка і відповідно зміні дії сили T . Результати для послідовних перерізів відмічали на круглограмі, де і можна спостерігати прогнозовану величину похибки. Похибки в двох перерізах показані на рис. 3.

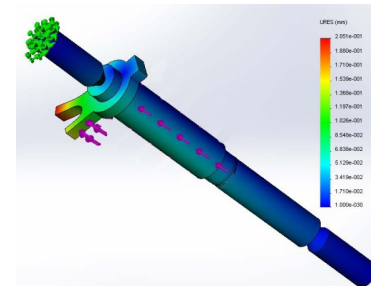


Рис. 2. Моделювання процесу оброблення

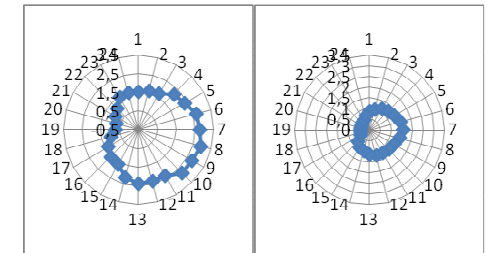


Рис. 3. Величини прогину заготовки при повному обороті заготовки

Тангенціальну складову сили різання можна знайти за такою формулою:

$$P_z = 10C_F \cdot S^x \cdot h^y \cdot V^n \cdot k \quad (1.1)$$

де S, h, V – відповідно повздовжня подача, глибина та швидкість різання.

Радіальну складову розраховуємо за умови:

$$\frac{P_x}{P_y} \approx 0.3 \dots 0.4 \quad (1.2)$$

При обробленні валів на верстатах з використанням повідкових пристроїв виникає похибка форми шийок вала в поперечному перерізі. Ця похибка з'являється внаслідок того, що крутний момент, який протидіє моменту тангенціальної складової сили різання P_z , поводить передає на односторонній хомутик зосередженою силою T , яка змінює своє кутове положення з частотою обертання заготовки. При цьому, внаслідок нежорсткості технологічної

системи, виникають пружні деформації, величина яких змінюється з тою ж частотою. Ця деформація стає причиною ексцентриситету та похибки форми оброблених поверхонь. Причому, величина цього ексцентриситету змінюється вздовж вісі заготовки. Максимального значення він набуває біля хомутика та практично дорівнює нулю біля заднього центру.

Двоплечеві або компенсуючі повідкові хомутики дозволяють практично повністю виключити зазначені вище негативні явища та різко підвищити точність форми циліндричних шийок валів. Нами було розроблено конструкцію такого хомутика (рис. 4) та проведено віртуальні досліді з використанням розробленої моделі. Головна відмінність цих хомутиків полягає в тому, що крутний момент на заготовку подається не однією силою T , а моментом пари сил $T/2$ (рис. 5). Для нормальної роботи подібного повідкового патрона

необхідно точно розташувати повідки на планшайбі верстата, тобто розмістити їх на колі одного радіуса в діаметрально протилежних точках. Для цього доцільно використовувати спеціальний шаблон.

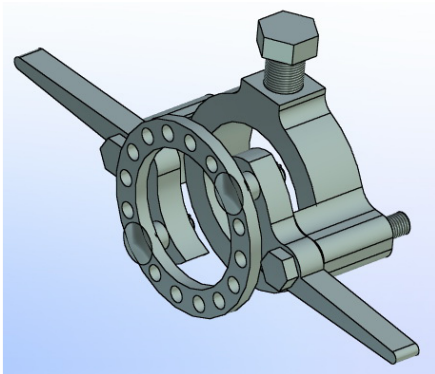


Рис. 4. 3-D модель компенсуючого повідкового хомутика

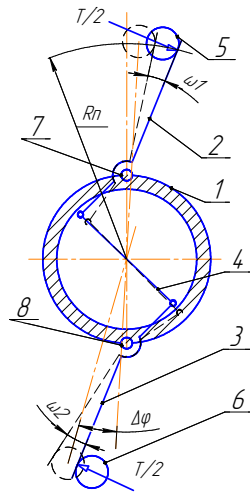


Рис. 5. Схема дії сил в компенсуючому повідковому пристрої

В компенсуючому повідковому хомутику важелі 2 та 3, які взаємодіють з повідками 5 і 6, з'єднані за схемою антипаралелограма. Корпус 1 хомутика закріплюють на заготовці. В початковий момент часу з-за похибки розташування в кутовому напрямку $\Delta\varphi$ тільки один поводок торкнеться до

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

важеля хомутика, наприклад, поводок 5 до важеля 2. При подальшому обертанні планшайби з повідками важіль 2 повертатиметься навколо вісі 7, а через тягу 4 він повертатиме важіль 3 навколо вісі 8 назустріч повідку 6. В момент торкання повідка 6 до важеля 3 заготовка почне обертатися, а необхідна для передачі крутного моменту сила T розділиться на два вектори $T/2$, які

розташовані в зворотних напрямках і не будуть призводити до прогину заготовки. Дослідження показують, що при використанні подібних повідкових хомутиків зміщення осі деталі з-за зазначених вище причин практично зникає.

Амплітуда синусоїди зміни сили з частотою обертання заготовки буде дорівнювати:

$$\Delta T = (P_g \cdot \sin \Delta\varphi / 2) / 2 \cdot R_n$$

Ця величина і буде похибкою компенсації. Наведемо розрахункові значення похибки компенсації $\frac{\Delta T}{T} \cdot 100\%$. (табл. 1) Видно, що пристрій забезпечує високу точність компенсації навіть при великих похибках кутового положення повідків.

Таблиця 1.

Похибка кутового положення повідка $\Delta\varphi^\circ$	2,0	5,0	10,0	15,0	30,0
Похибка компенсації, %	1,7	4,4	8,7	13,1	25,9

Для зменшення жорсткості привода обертання заготовки кільце, що з'єднує важелі 2 и 3, виконують розрізним. Це дозволяє підвищити якість обробленої поверхні при виникненні вібрацій. Іншим варіантом конструкції подібних повідків є конструкція з вилкою, жорстко установленною на кільці, яке закріплено на корпусі за допомогою осей, що дозволяє йому змінювати кут нахилу вісі по відношенню до цього корпусу. Ця конструкція простіша, але має гірші експлуатаційні характеристики. Використання самозатискних пристроїв зменшить допоміжний час на установку та зняття заготовки.

Список використаних джерел:

1. Кремень З. И. Технология шлифования в машиностроении/ З. И. Кремень, В. Г. Юрьев, А. Ф. Бабоскин; под общ. ред. З. И. Кременя. — СПб.: Политехника, 2007. — 424 с.: ил.
2. Кащук В. А., Верещагин А. Б. Справочник шлифовщика.—М.: Машиностроение, 1988.— 480 с: ил.— (Серия справочников для рабочих).
3. Фещенко, В. Н. Токарная обработка: Учебник/В. Н. Фещенко, Р. Х. Махмутов. — 6-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2005. — 303 с.: ил.

УДК 675.6.025

Важкий І., наук. кер. *Кореньков В.М., к.т.н., доц.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: vanikvaghkiy@ukr.net,
volodymyr.korenkov@gmail.com**ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ДВОВИМІРНОГО РОЗКРОЮ МАТЕРІАЛУ**

Протягом останнього часу постійно зростає кількість робіт, пов'язаних з раціональним розкромом матеріалів у різних галузях промисловості. Таке зацікавлення задачею розкрою пояснюється труднощами під час розроблення досконалих математичних моделей для її розв'язання та очевидною ефективністю і практичною значущістю використання результатів теоретичних досліджень у матеріальному виробництві. Особлива зацікавленість задачею розкрою з'явилася в умовах економічної кризи, коли дефіцит сировини і її висока вартість змусили раціонально використовувати матеріали. Особливої актуальності вона набула з переходом від масового і серійного виробництва до дрібносерійних та індивідуальних форм організації як державних, так і приватних підприємств. Огляд робіт, пов'язаних з оптимізацією розкрою, дає змогу зробити висновок про те, що у деяких галузях промисловості ця проблема вирішується доволі успішно. Сьогодні проблема розкрою для одновимірного розміщення, де менші шматки повинні бути вирізані з більшого куска із мінімальними залишками, більш широко розглянута в літературі та існують ефективні алгоритми які забезпечують отримання оптимального розкрою. Але для двовимірного матеріалу, навіть для заготовок прямокутної форми (не кажучи вже про заготовки складної конфігурації), універсальних і водночас ефективних алгоритмів їх розміщення розроблено набагато менше. Саме її ми розглянемо.

В роботі використано один з подібних алгоритмів, який буде забезпечувати мінімальні втрати під час двовимірного розкрою матеріалу.

Математична модель формується наступним чином:

$$z = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \rightarrow \min$$

Обмеження моделі:

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot x_j \geq d_i, \quad i = 1, 2 \dots m$$

$$p_{ij}, \quad x_j \geq 0$$

Знаходження упаковки деталей на матеріалі повинно відбуватись за таких умов:

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

- ребра заготовки, що підлягають розкрою, паралельні до ребер матеріалу, що розрізається;
- заготовки, що підлягають розкрою, не перетинаються одна з одною;
- заготовки, що підлягають розкрою, не перетинаються із сторонами прямокутників матеріалу.

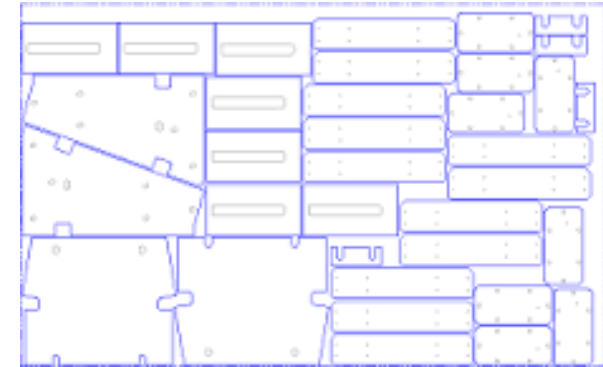


Рис. 1. Приклад розкрою матеріалу

В якості інструменту реалізації алгоритму була обрана мова програмування Python. Завдяки Python розроблюю програмний засіб який зможе оптимально виконувати двовимірний розкрій листового матеріалу із мінімальним відходами. Перевагами програмного засобу буде: його простота у використанні, вивід карти розкрою на екран з подальшим виводом на принтер, збереження результатів, та інші...

Розвиток таких продуктів в напрямку безкоштовних он-лайн сервісів дозволить перевірити адекватність отримуваних результатів на великій кількості прикладів та залучити спільноту інженерів до їх вдосконалення.

Список використаних джерел:

1. Мухачева Э.А., Картак В.М. Модифицированный метод ветвей и границ: алгоритм и численный эксперимент для задачи одномерного раскроя. // Информационные технологии, 2000. №9. С. 15-20.
2. Математические методы в исследовании операций. Сборник под ред. Моисеева Н.Н., Краснощекова П.С. М.: Изд-во Московского университета, 1981. - 192 с.
3. Балакин В.П., Мартынов А.И., Тер-Акопов Р.С. Теория и технология процессов штамповки. М.: МИСиС, 1996. -122 с.
4. Бурковский В.Л., Харченко Р.А., Цапин А.Н. Исследование эффективности эволюционных вычислений в задачах оптимизации в электроэнергетике. // Системы управления и информационные технологии, 2003. №1-2. С.63-67.
5. Бурковский В.Л., Харченко Р.А., Цапин А.Н. Исследование эффективности эволюционных вычислений в задачах оптимизации в электроэнергетике. // Системы управления и информационные технологии, 2003. №1-2. С.63-67.

УДК 621.757:882.082.8

Waiyaki T., Danylova L., PhDNational technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute", e-mail: tonywaiyaki@yahoo.com, ldanylova@bigmir.net**INFLUENCE OF KINEMATIC OF SCREWING ON QUALITY SMOOTH-THREADED CONNECTIONS**

Screw connections are the most labor-intensive and the most difficult to automate. In industrial and construction, we use Self-Drilling Thread-Forming Screws, the effectiveness of which is determined by eliminating the need to pre-drill holes in parts that join or extrusion of the threads and accurate basing of the screw in the hole under the thread formation. This method provides a high yield, higher quality of connection, increase of static and fatigue durability of screw-threads in comparison to screw-threads that are cut.

The main criterion of efficiency of the fastening of threaded joints is strength. It is known that breakage of threaded parts in most cases arises from fatigue that is associated with the action of effect of variable stresses. It is known that the static strength of threaded joints obtained through self-tightening; with a tension value of 30% to 100% is higher than that of the joints threaded by 1, 5-2 times, while the cyclic durability is lower.

From the analysis of the factors that determine the performance of threaded elements in the conditions of cyclic loading, it is known that defects of structural nature constitute approximately 11%, process – 47%, material defects 4% and defects that occur during the operation – 38% [1].

We know about the impact of external axial force on the axial symmetry of deformation in magnitude and gradient on opposite sides of the cavities and depressions forming in its profile that indicates its crucial part in shaping the final pattern of stresses in the zone of maximum deformation, which is also a zone of stress concentration [2].

Fig. 1 shows a picture of Sackler (lines connecting points of equal hardness or softness of material) in the axial section of the thread.

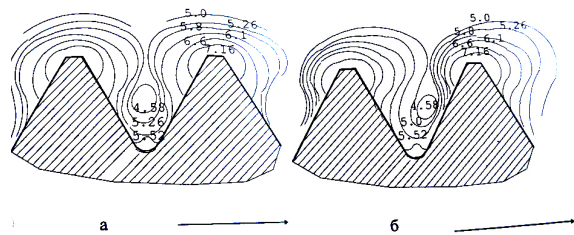


Figure 1. Picture izoskler

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

The hardness of the material in PA (figures on the curves indicate the level of micro hardness, the arrows indicate the direction of screwing of the screws): a- by screwing in the hole with forced feed; b - the same self-tightening method.

The asymmetric flow of the metal indicates the impact of uncompensated axial force that imposes changes on compressive remnant tension. On the photo, (Fig. 2, 3), the asymmetry of the formed profile is shown; both the asymmetry of the peaks like «craters» and the distortion of form of the groove area occurs here.

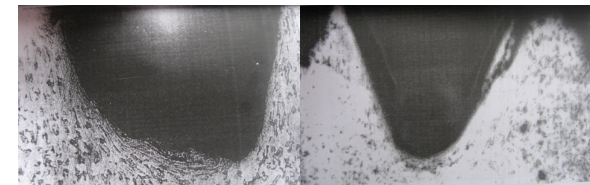


Figure 2. Profile Photo of the groove carving area of the screw-thread that is formed at insufficient axial force (150 and 100 -fold increase)

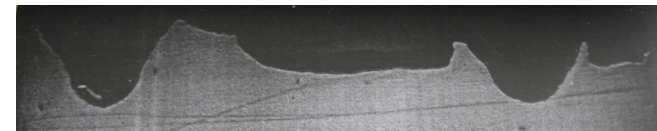


Figure 3. Profile Photo of the second coil of screw-thread that is formed at insufficient axial force (100 - fold increase)

The action of uncompensated force increases the defects and imperfectness of the strengthened layer and imposes compressive stress on the stretching stress in the grooved area, resulting into their relaxation. It neutralizes the positive effect of plastic deformation and reduces the quality of the formed screw-thread.

The main work of the formation of the threads is performed by the walls of the screw. Getting Analytical dependence for radial force of the thread-formation reduces the determination of the contact stresses and planes.

These considerations speak about correctness of changes in the traditional self-stretching thread-formation method on the implementation process with a constant axial force. The external axial load must be equal to the largest axial component force of the thread-formation.

The main work of the formation of the threads is performed by the walls of the screw. Getting Analytical dependence for radial force of the thread-formation reduces to the determination of the contact stresses and planes.

Features of flat plastic flow have qualities that allow us to find the solution using graphical method. The method of sliding lines allows us to calculate contact stresses and deforming forces. The type of plastic area and its field of slip lines

depend on the pressing chart which is determined by the geometry of the Western part of the thread-forming part, which may be conical or cylindrical.

For screws with a wide groove, the formula for determining P_{oc} is obtained on the basis of the solution of the task of theory of plasticity after the immersion of a hard wedge in a hard and rigid plastic area.

$$P_{oc} = 2kS [\pi/2 - \gamma + \delta + (\cos \delta / \cos \gamma) \cdot \cos (\gamma - \delta)] \operatorname{tg} \delta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \omega,$$

Where: k - plastic constant,

γ - Half the angle of the profile loop,

S - Area of the contact surface,

δ - Angle of friction,

ω - The angle of ascent of the spiral.

The magnitude of effort needed to turn the existing rotating tool, is proportional to instantaneous area of contact of this coil with the work-piece of IPC. The analytical calculation of the IPC during thread-formation requires solving the problem of intersection of space bodies of complex curved shapes, approximate methods for determining IPC does not always provide sufficient accuracy of calculations. Calculating the IPC in thread-formation is possible by geometric 3D-modeling process in T-FLEX CAD 3D. As a result, on the 3D-model of the work-piece there are imprints of coils of screw, whose area equals to the IPC during thread-formation (Fig. 4).

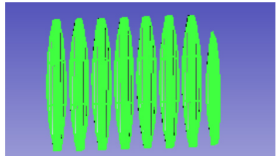


Figure 4. Determination of IPC using T-FLEX CAD 3D

References

1. Savchenko VA Improving resource characteristics of the threaded connections of parts of aircraft engines by optimizing the technological parameters: Dis ... Cand. techn. Sciences: 05.02.08. – M., 1990. – 165 p.
2. Lukashov VA Development and research of a methods of forming small-sized tight threaded joints fastening pins in high strength-Al alloys: Dis ... Cand. techn. Sciences: 05.02.08. – M., 1990. – 183 p.
3. Petrikov VG, Vlasov AP Progressive fasteners. M.: Engineering, 1991. 256 p.
4. Mechanization and automation of Assembly works in machine-building enterprises /Arpentiev B. M., A. S. Zenkin, A. N. Kuzin., 1994. 232 p.

УДК 621.767(075.8)

Зелінко А.І., наук. кер. *Кореньков В.М.*, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: andrii.zelinko@st.ovgu.de,
volodymyr.korenkov@gmail.com

КОНЦЕПЦІЯ СЕНСОРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Сучасний напрямок розвитку інструментів.

Існує два основних критерії для оптимізації технологічних процесів: максимальна продуктивність та мінімальна вартість. Сталий розвиток технології виробництва залежить передусім від трьох взаємозалежних головних складових, а саме: верстат, інструмент та технологія, які дозволяють прискорити виготовлення деталей та/або зменшити їх вартість.

Розвиток і застосування лінійних приводів у верстатах, твердих сплавів і покриттів в інструментах, а також феномену високошвидкісного фрезерування (спад сили різання при швидкості різання у декілька разів більшої ніж при стандартних умовах) відкрили нові поля для застосування остаточного механічного оброблення, а саме оброблення твердих матеріалів пресформ [1].

При остаточному обробленні пресформ часто використовуються нежорсткі фрези, що призводить до виникнення наступних проблем:

- зменшення періоду стійкості;
- погіршення точності розміру і форми деталі;
- підвищення параметрів шорсткості;
- зростання рівня шуму.

Новим трендом у розвитку технології виробництва є введення сенсорів в процес механічного оброблення. Завдяки цьому можна отримувати актуальні дані процесу різання і відповідно на них реагувати змінюючи сам процес. Системи для діагностики та спостереження вже давно застосовуються у верстатах з ЧПУ, також на ринку вже є оправки з інтегрованими сенсорами, але самі датчики знаходяться далеко від процесу різання, що впливає на якість і точність сигналу. Наступним кроком в інтеграції сенсорів у технологічний процес є встановлення датчику на/в ріжучому інструменті, якнайближче до ріжучої кромки.

Незважаючи на те, що на сьогодні тема сенсорних інструментів досить широко досліджується, немає однозначної відповіді на питання:

Які сенсори використовувати у конкретному випадку?

Як передавати сигнал від інструменту до оправки?

Як безконтактно передати сигнал з інструменту, який обертається навколо своєї осі?

Складові системи сенсорного інструменту на сучасному ринку

1. Мікро-електро-механічна система (МЕМС) [2]

Сенсори MEMS мають відносно малі габарити (декілька мм). Яскравим прикладом таких сенсорів є датчики прискорення, які виготовляються із кремнію і є системою пружина-маса, де пружина має товщину декількох мкм. Через відхилення маси при прискоренні можна виміряти зміну електричної ємності. При цьому область вимірювання складає близько 1 pF. Датчик прискорення зображений на рис. 1.



Рис. 1. Датчик прискорення

2. Безконтактна передача сигналу з рухомого інструменту [3]

Більшість на сьогодні існуючих систем для передачі сигналу з валу, який обертається навколо своєї осі побудовані на принципі індукційної передачі енергії. Змінне магнітне поле між ротором і статором є причиною для електромагнітної індукції. Навколо провідника, через який тече струм, будується магнітне поле, яке впливає на сусідній провідник. Зміна струму в одному провіднику супроводжує зміну його магнітного поля, що змінює напругу у сусідньому провіднику. Система компанії Balluff представлена на рис. 2.



Рис. 2. Система для безконтактної передачі енергії Balluff

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Прототип сенсорного інструменту

Прототип сенсорного інструменту (рис. 3) на основі торцевої фрези із 8 ріжучими кромками: сигнал від 3-осьового датчика прискорення безконтактно передається через передатчик на кільцеподібну індукційну систему передачі даних. Далі сигнал приймає статична частина індукційної системи, від якої дані через кабель переходять на комп'ютер [1].

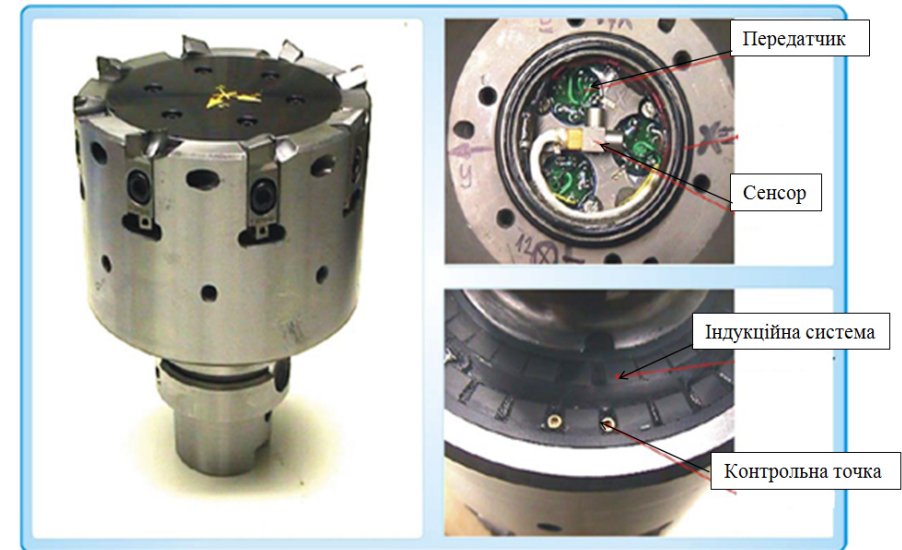


Рис. 3. Прототип сенсорного інструменту

На сьогоднішній день в світі розвиток сенсорних інструментів набирає оберти. Не зважаючи на те, що компоненти для побудови сенсорних інструментів ще не є досконалими, їх застосування дає нові можливості для аналізу та управління процесом різання, тому розробка більш досконалого сенсорного обладнання на сьогоднішній день є однією з провідних проблем обробки різанням.

Список використаних джерел:

1. Frank Barthelmä, Sensorische und aktorische Werkzeuge und Werkzeugkomponente zur Gestaltung optimaler Hochleistungszerspanprozesse / Dissertation – 2006
2. Інтернет сторінка фірми Analog Devices. Доступна за посиланням: <http://www.analog.com/en/products/mems/mems-accelerometers/adxl001.html#product-overview>
3. Інтернет сторінка фірми Balluff. Доступна за посиланням: <http://www.balluff.com/balluff/MDE/de/produkte/Ganz-ohne-Schleifringe.jsp>

УДК 621.9.048

Зильов Н.О., наук. кер. Фролов В.К., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: nikitonix@gmail.com, v.k.frolov@gmail.com**ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ВІЛЬНИМ АБРАЗИВОМ. ДАЙДЖЕСТ**

Спосіб шліфування вільним абразивом використовується для покращення якості поверхні, зміцнення поверхневого шару матеріалу, часткового зняття внутрішніх напружень виробу, ліквідації задирок та заокруглення гострих кромek. Сутність способу полягає в тому, що деталям, завантаженим в контейнер з вільним абразивним середовищем, передаються коливальні та обертальні рухи.

Існують два різновиди процесу – віброшліфування та турбошліфування. При віброшліфуванні деталі «навалом» завантажують в контейнер, заповнений робочим середовищем, а рухи різання передають контейнеру. При турбошліфуванні деталі закріплюють в спеціальному пристрої, зануреному в робоче середовище контейнера. Рухи різання при цьому можуть передаватись або одночасно пристрою та контейнеру, або тільки пристрою з деталями.

При шліфуванні вільним абразивом частота вібрації складає 25...80 Гц, амплітуда – 1...6 мм. Залежно від складу середовища, в якому відбувається оброблення, процес є механічним або хіміко-механічним. В якості рідкого наповнювача використовуються хімічно активні розчини. Оброблення в середовищі сталевих або порцелянових кульок дозволяє зміцнювати поверхні. Тривалість процесу може сягати 20 годин [1, 2].

Ефективність процесу шліфування залежить від багатьох факторів – розміру, форми та матеріалу абразивних елементів, співвідношення розмірів абразиву та оброблюваних поверхонь деталей, конструкції контейнера, амплітуди, частоти та напрямку рухів контейнера, від яких залежить швидкість руху деталей, наявність та склад хімічно активного середовища тощо. Критеріями ефективності можуть бути найменша собівартість або найбільша продуктивність процесу за умови досягнення вимог до якості продукції.

Метою даної роботи є аналіз існуючих результатів досліджень процесу шліфування вільним абразивом, визначення факторів, що здійснюють найбільший вплив на продуктивність оброблення, та розроблення рекомендацій, направлених на інтенсифікацію процесу.

Використання хімічно активних речовин впливає на процес оброблення по різному. В певних випадках розчини вступають в хімічну реакцію з поверхніми деталями, внаслідок чого поліпшується інтенсивність оброблення. В інших випадках вони утворюють захисні плівки на поверхнях деталей, які не впливають на процес, оскільки знищуються робочим середовищем. Деякі хімічно активні речовини відновлюють різальні кромки гранул робочого

середовища. В загальному випадку розчини використовують для видалення відходів оброблення та утвореного пилю.

В роботі [3] проаналізовано вплив форми абразивних гранул на їх зносостійкість та продуктивність процесу. Досліджувались гранули в формі конуса, циліндра, тетраедра, піраміди тощо. Автор зазначає, що найбільш продуктивним є використання гранул більш складної форми, з більшою кількістю різальних кромek, та пропонує використовувати гранули в вигляді двосторонньої піраміди, в поперечному перерізі якої лежить неопуклий шестикутник.

В роботі [4] досліджувався вплив форми абразивних гранул на швидкість руху шару робочого середовища, що межує зі стінками контейнера. Доведено, що гранули, геометрична форма яких передбачає наявність пазів, рухаються з більшою швидкістю в порівнянні з «гладкими» гранулами.

В роботі [5] стверджується, що збільшення маси гранул призводить до суттєвого підвищення інтенсивності видалення матеріалу з поверхні оброблюваного зразка.

Досліджувався вплив розміру та зернистості гранул на інтенсивність процесу [6]. Доведено, що із збільшенням цих параметрів продуктивність процесу підвищується. При цьому не досліджено їхній вплив на шорсткість оброблюваної поверхні.

Переважає кількість відомих експериментальних досліджень проводилась з використанням віброконтейнерів U-подібної, інколи – циліндричної форми. Досліджувався вплив амплітудно-частотних параметрів коливань контейнера на інтенсивність видалення матеріалу [6-8]. Автори робіт стверджують – продуктивність процесу шліфування пропорційна амплітуді та частоті коливань (в межах досліджуваних діапазонів цих параметрів).

В роботі [9] виконане математичне моделювання процесу віброшліфування. Приведена математична модель дозволяє визначити діапазон амплітудно-частотних характеристик роботи вібраційного верстата, що забезпечує необхідні параметри оброблення, визначити діапазон найбільш раціональної витрати потужності, а також врахувати такі особливості процесу, як присутність циркуляції робочого середовища та зниження реакції робочого середовища при збільшенні частоти коливань. Дослідження проводились для існуючого верстата, який має незмінні форми, габарити контейнера та привід, що генерує рухи різання.

Один з основних чинників, що впливає на процес шліфування вільним абразивом, – конструкція контейнера. В роботі [10] наведено класифікацію форм контейнерів та додаткових пристроїв (дефлекторів), що розташовані всередині контейнера та призначені для інтенсифікації процесу. На жаль, авторами роботи не запропоновано методики, яка дозволяла б визначити конструктивні параметри контейнера для конкретних виробничих умов.

Аналіз робіт, присвячених процесу шліфування вільним абразивом, дозволяє зробити наступні висновки.

1. Розрізняють два типи процесів – віброшліфування та турбошліфування. В першому рухи передаються контейнеру з робочим середовищем та вільно розташованими в ньому заготовками, в другому – примусові рухи передаються безпосередньо заготовкам, закріпленим в спеціальних пристроях.

2. На ефективність процесу впливає велика кількість факторів, значущість яких змінюється в залежності від поставлених технологічних задач.

3. Вплив хімічно активних розчинів, а також форми, величини, маси, матеріалу та зернистості абразивних гранул достатньо повно досліджено. Існують певні рекомендації щодо призначення величин цих параметрів для виконання конкретної виробничої задачі.

4. В проаналізованих роботах мало уваги приділялось визначенню оптимальної швидкості різання та способам її стабілізації в часі і просторі – для всіх оброблюваних поверхонь деталей.

5. Наразі не існує методики вибору конфігурації, форми, розмірів контейнера, а також інших його конструктивних елементів (кута нахилу корпусу, кількості, форми та розташування активаторів-дефлекторів тощо) для оброблення деталей певного розміру та конструкції.

Список використаних джерел:

1. Finishing und Coating von SLS-Teilen für Additive Manufacturing (AM). Verfasser des Aufsatzes: Schmid, Manfred; Levy, Gideon N.; Inspire AG, Institute for Rapid, Product Development (irpd). <http://www.dipp.nrw.de/service/dppl/>.
2. Шаравьев А.А. Отделочные методы обработки в машиностроении. <http://finishing2007.narod.ru/18.htm>.
3. Шумакова Т.А. Повышение производительности процесса изготовления абразивных гранул усовершенствованием конструкции формообразующих устройств. Вісник Східноукраїнського Національного Університету імені Володимира Даля. № 10 (217), 2014, с. 68-73.
4. Калмыков М.А., Шумакова Т.А., Левинская И.М. Исследование поведения абразивных гранул различных геометрических форм в вибрирующих контейнерах. Вібрації в техніці та технологіях, № 3 (55), 2009, с. 69-72.
5. Шумакова Т.А. Исследование влияния на производительность процесса виброобработки основных факторов. Технологический аудит и резервы производства. № 6/1(20), 2014, с. 4-8.
6. Мицык А.В., Федорович В.А. Процесс отделочно-зачистной виброобработки и параметры, влияющие на его производительность. Резание и инструмент в технологических системах, 2013, выпуск 83, с. 184-194.
7. Боровець В.М., Савчин Б.М., Боровець Я.В. Технологічні методи забезпечення якості виробів. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. <http://ena.lp.edu.ua>.
8. Зуев А.С., Левинская И.М., Лубенская Л.М. К вопросу турбоабразивной обработки деталей. Автоматизация производных процессов у машинобудуванні та приладобудуванні. Вип. 45. 2011, с. 302-308.
9. Калмыков М.А. Моделирование процессов, протекающих при вибрационной обработке деталей. Вібрації в техніці та технологіях, № 2 (58), 2010, с. 74-94.
10. Бурлакова Г.Ю., Кожемякин В.Г., Николаенко А.П. Исследование слипаемости мелких плоских деталей. Вібрації в техніці та технологіях, № 3 (59), 2010, с. 8-15.

УДК.621.941.005

Льчук М.М., наук. кер. Біланенко В.Г., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: victor_bilanenko@ukr.net

ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ

Аналіз технологічних процесів сучасного машинобудівного виробництва свідчить, що переважна їх більшість базується на застосуванні процесів механічного оброблення різанням. Механічне оброблення різанням реалізується з застосуванням лезових та абразивних різальних інструментів.

Незважаючи на значне розширення номенклатури інструментальних матеріалів для лезових різальних інструментів, абразивне оброблення широко використовується для завершального оброблення зовнішніх та внутрішніх поверхонь, для яких необхідно забезпечити високу точність розмірів (IT7-IT5), форми та параметрів шорсткості обробленої поверхні $Ra = (0,16 - 0,32) \mu\text{m}$, що практично не можна забезпечити лезовими різальними інструментами. Важливою перевагою технологічних операцій абразивного оброблення є відсутність практичних обмежень на твердість оброблюваних поверхонь, можливості широкого застосування засобів автоматизації, забезпечення високої продуктивності оброблення.

З відомих на сьогодні видів абразивного оброблення найбільшу продуктивність оброблення забезпечує безцентрове оброблення зовнішніх та внутрішніх поверхонь. Його використовують для оброблення поверхонь гладких та ступінчастих валів в широкому діапазоні зміни розмірів діаметрів та їх дожини, різноманітних втулок, поршневих пальців, штоків циліндрів, труб, поршнів, деталей підшипників кочення. Практичне застосування безцентрального абразивного оброблення обмежується умовами великосерійного та масового виробництва.

Жорсткість технологічної оброблюючої системи, яка використовується для безцентрального шліфування в (1,5-2,0) рази вища за жорсткість системи для круглого шліфування з установкою заготовки в центрах. Це забезпечує зростання продуктивності оброблення за рахунок підвищення режимів різання, а також поліпшує характеристики якості оброблюваної поверхні. Базування заготовки здійснюється безпосередньо по оброблюваній поверхні, що забезпечує сприятливі умови оброблення і це особливо ефективно за умов оброблення деталей недостатньої власної жорсткості. Важливою перевагою застосування безцентрального шліфування є можливість їх відносно простої автоматизації процесу оброблення та їх вбудовування в автоматичні лінії за рахунок використання завантажувальних систем та автоматизованих засобів активного контролю.

Безцентрове шліфування має окремі недоліки, які обумовлені складністю технічного налагодження верстату при підвищених вимогах до

забезпечення циліндричності обробленої поверхні та формування обробленої поверхні валів, вісь якої не буде співпадати з віссю загальних технологічних баз, якими є центрові отвори і які були використані для оброблення на попередніх етапах оброблення. За умов оброблення з наскрізним переміщенням заготовки забезпечується точність форми поверхні в поперечному перерізі відхилення від круглості $\delta \leq 2,5$ мкм та параметри шорсткості поверхні $Ra = (0,16 - 0,32)$ мкм [2].

Практикою машинобудівного виробництва освоєні три принципові схеми реалізації безцентрового шліфування:

- оброблення поверхонь з наскрізним переміщенням заготовки;
- оброблення поверхонь до упору;
- шліфування врзанням.

Кінематична схема безцентрового шліфування з наскрізним переміщенням заготовки повинна включати головний рух різання, який здійснюється шліфувальним кругом, лінійна швидкість якого визначається характеристиками оброблюваного матеріалу, характеристиками шліфувального круга, вимогами до характеристик якості обробленої поверхні та розраховується за формулою:

$$V_k = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n_k}{60 \cdot 1000} \text{ (м/с)} \quad (1.1)$$

де d_k - діаметр шліфувального круга, мм; n_k - частота обертання круга, об/хв..

Зростання швидкості головного руху різання в межах допустимого значення для даного шліфувального круга підвищує продуктивність оброблення, зменшує величину висотних параметрів шорсткості поверхні, величину сили різання та інтенсивність зношування різальних кромок, підвищує стабільність збереження профілю робочої частини інструменту, але супроводжується зростанням кількості теплоти, яка утворюється в зоні різання.

Кругова подача оброблюваної поверхні заготовки забезпечується ведучим кругом. Для забезпечення високого коефіцієнта тертя поверхні ведучого круга та оброблюваної поверхні використовують ведучі круги з вулканітовою зв'язкою (R) та величиною абразивних елементів розміром M40-M28. Лінійна швидкість кругової подачі визначається за формулою:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{1000}, \text{ [м/хв]} \quad (1.2)$$

де d_s - діаметр обробної поверхні заготовки, мм; n_s - частота обертання заготовки, об/хв.

Швидкість кругової подачі має протилежний вплив на процес шліфування в порівнянні з швидкістю головного руху різання. При її зростанні величина висотних параметрів шорсткості поверхні, сила різання та інтенсивність зношування різальних кромок зростають, але зменшується кількість теплоти, яка утворюється в зоні різання, тому при шліфуванні матеріалів, які схильні до

утворення припалів та мікротріщин доцільно збільшувати швидкість кругової подачі. Практикою застосування процесів шліфування в машинобудівному виробництві та за результатами виконання експериментальних досліджень встановлені рекомендовані співвідношення швидкості головного руху різання та швидкості кругової подачі, яку визначають за формулою:

$$\varepsilon_v = \frac{V_k \cdot 60}{V_s} \quad (1.3)$$

де V_k - швидкість головного руху різання, м/с; V_s - швидкість кругової або дотичної подачі, м/хв.

Найчастіше для оброблення шліфуванням це співвідношення знаходиться в діапазоні $\varepsilon_v = (60 - 120)$. Для умов попереднього чорнового оброблення це співвідношення доцільно приймати в діапазоні $\varepsilon_v = (60 - 80)$, а для завершального чистового шліфування для зменшення параметрів шорсткості поверхні в діапазоні $\varepsilon_v = (80 - 120)$. Для визначення кругової подачі можна використати співвідношення $V_s = (0,008 - 0,016) V_k$. Необхідно приймати до уваги, що наведені співвідношення є простими, але потребують подальшого уточнення з урахуванням конкретних умов оброблення, оскільки вони не враховують фізико-механічні характеристики оброблюваних матеріалів, твердість оброблюваних поверхонь, інтенсивність видалення припусків, вимоги до характеристик якості обробленої поверхні, характеристики жорсткості верстатів та види застосовуваних мастильно-охолодних технологічних середовищ (ЗМОТС).

Тому для урахування більшої кількості вихідних параметрів при визначенні частоти обертання заготовки доцільно використовувати емпіричну залежність, яку наведено в роботі [3]:

$$n_s = k \cdot 1200 \cdot d_s^{-0,57}, \text{ об/хв} \quad (1.4)$$

де k - коефіцієнт, який враховує твердість оброблюваної поверхні: $k=1$, за умови, що твердість оброблюваної поверхні складає $HRC \leq 30$ (не термооброблені поверхні) вуглецевих та легованих конструкційних сталей, чавунів та бронзи; $k=1,2$ для тих же груп оброблюваних матеріалів за умови, що твердість оброблюваних поверхонь складає $30 < HRC \leq 50$; $k=(1,5-1,6)$ за умови оброблення поверхні з твердістю $HRC > 50$, а також нержавіючих, жароміцних та інструментальних сталей

Поздовжня подача заготовки забезпечується та змінюється поворотом вісі ведучого круга відносно вісі шліфувального круга на кут $\alpha \leq 6^\circ$. Поворот вісі ведучого круга обумовлює необхідність правки робочої поверхні круга та формування криволінійної поверхні у вигляді гіперboloїду, який буде визначатись діаметром обробленої поверхні. Якщо схема безцентрового оброблення використовує нахилу базову опору, то для забезпечення ефективних умов оброблення необхідно виконувати таку правку і для шліфувального круга. За умов повороту ведучого круга швидкість кругової подачі заготовки визначається за співвідношенням: $V_s = V_{\text{кр}} \cdot \cos \alpha$. З

урахуванням, що ведучий круг здійснює обертальний рух швидкість кругової подачі заготовки буде дорівнювати:

$$V_z = \frac{\pi \cdot D_{\text{вкр}} \cdot n_{\text{вкр}}}{1000} \cdot \cos \alpha \quad (1.5)$$

де $D_{\text{вкр}}$ – діаметр ведучого круга, мм; $n_{\text{вкр}}$ – частота обертання ведучого круга, об/хв; α – кут повороту вісі ведучого круга, град.

За таких умов частота обертання заготовки розраховується за формулою:

$$n_z = \frac{1000 \cdot V_z}{\pi \cdot d_z} = \frac{D_{\text{вкр}} \cdot n_{\text{вкр}}}{d_z} \cdot \cos \alpha \quad (1.6)$$

Швидкість поздовжньої подачі визначається за формулою:

$$V_{nz} = V_{\text{вкр}} \cdot \sin \alpha \quad (1.7)$$

де $V_{\text{вкр}}$ – лінійна швидкість ведучого абразивного круга, м/хв; α – кут повороту вісі ведучого круга, град.

Швидкість поздовжньої подачі визначається в залежності від умов оброблення та висоти шліфувального круга і визначається величиною поздовжньої подачі на один оберт заготовки:

$$V_{nz} = S_{nz} \cdot n_z, \text{ мм/хв} \quad (1.8)$$

де S_{nz} – поздовжня подача круга, мм/об; n_z – частота обертання заготовки, об/хв.

Відповідно, величина поздовжньої подачі визначається за формулою:

$$S_{nz} = V_{nz} / n_z \quad (1.9)$$

З урахування залежності (1.6), отримаємо формулу для визначення величини поздовжньої подачі для зовнішнього без центрового шліфування:

$$S_{nz} = V_{\text{вкр}} \cdot \sin \alpha \cdot d_z / D_{\text{вкр}} \cdot n_{\text{вкр}} \cdot \cos \alpha = \pi \cdot D_{\text{вкр}} \cdot n_{\text{вкр}} \cdot d_z \cdot \sin \alpha / D_{\text{вкр}} \cdot n_{\text{вкр}} \cdot \cos \alpha \quad (1.10)$$

Остаточо отримаємо:

$$S_{nz} = \pi \cdot d_z \cdot \tan \alpha, \text{ мм/об} \quad (1.11)$$

В залежності від умов процесу шліфування, розмірів шліфувального круга та визначеної величини поздовжньої подачі, може бути розрахований необхідний кут повороту вісі ведучого круга:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{S_{nz}}{\pi \cdot d_z} \right) \quad (1.12)$$

де S_{nz} – поздовжня подача круга, мм/об; d_z – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

Список використаних джерел:

1. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. [Текст]/В.К. Старков- М.: Машиностроение, 2009.-640с.
2. Електронний ресурс [http://stanki-katalog.ru/st_50.htm].
3. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении- Санкт-Петербург: Политехника, 2007.-425с.- ISBN 978-5-7325-0517.

УДК 621.9.02.001.2(075.8)

Казарян Г.А., Данилова Л.Н., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: gzaryan@ukr.net

ПРОЕКТУВАННЯ ГВИНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ НА ДЕТАЛЯХ МАШИН

В машинобудуванні широко використовують деталі і інструменти, що мають гвинтові поверхні. Гвинтові канавки, на відміну від різьби, практично не оброблюють точінням, при великих кутах підйому витка кінематичний задній кут на одній із сторін профілю в межах $2^0 - 4^0$ забезпечити неможливо. Основним методом оброблення гвинтових канавок є метод безцентроїдного обгинання, тобто формоутворення відбувається із застосуванням фасонного інструмента – фрези або шліфувального круга. Вирішення як прямої так і зворотної задач представляє інтерес при проектуванні інструментів, деталей і розрахунках прогнозованої точності оброблення. Оброблення відбувається в умовах підрізання, оброблений профіль деталі залежить від профілю інструмента, його діаметру і від параметрів його установа, тому задача профілювання має свою специфіку і її треба вирішувати для конкретних умов [1]. Винаходження профілю гвинтової канавки на дрібних деталях машин, що оброблюються інструментом простого профілю, або стандартним інструментом великого діаметру можливо на основі вирішення задачі визначення вихідної інструментальної поверхні при гвинтовому русі циліндричної поверхні деталі відносно поверхні інструмента.

З циліндричною поверхнею інструмента зв'яжемо нерозривно систему координат $x_1y_1z_1$, а з деталлю – $x_1y_1z_1$ (рис. 1). У процесі гвинтового руху поверхні І щодо поверхні Д система координат $x_1y_1z_1$ буде обертатися навколо осі x_1 системи координат $x_1y_1z_1$ і рухатися поступально уздовж цієї осі. Позначимо кут повороту через θ . Тоді поступальне переміщення буде $h\theta$. Формули перетворення координат для цього випадку запишуться в такий спосіб:

$$x_1 = x \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon + h\theta$$

$$z_1 = z \cos \theta + (x \sin \varepsilon + y \cos \varepsilon) \sin \theta$$

$$y_1 = (x \sin \varepsilon + y \cos \varepsilon) \cos \theta - z \sin \theta.$$

У системі координат $x_0y_0z_0$ точки контакту визначаються рішенням двох систем рівнянь:

$$1) \text{ рівняння поверхні деталі } z = f(y);$$

$$2) \text{ рівняння контакту } x = -\operatorname{tg} \psi(z \operatorname{ctg} \varepsilon - h) - y_0 \operatorname{ctg} \varepsilon;$$

Спільне рішення цих рівнянь з формулами переходу, тобто система п'яти рівнянь, дає шукану гвинтову інструментальну поверхню, параметр якої дорівнює параметру початкового гвинтового руху.

Гвинтовий рух профілю характеризується осьовим кроком H і кутом нахилу гвинтової лінії поверхні на циліндрі радіусу r або, гвинтовим

параметром h . Між цими параметрами існує залежність $h = H/2\pi = r/tg \omega$.

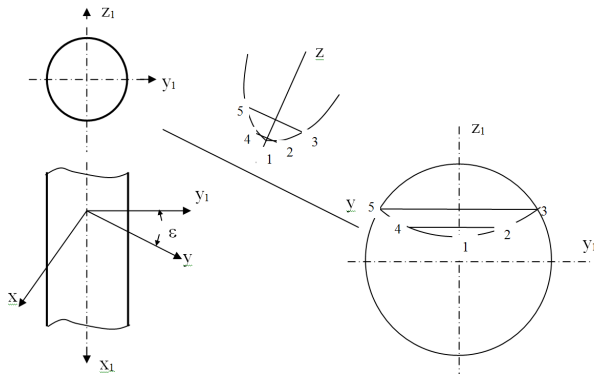


Рис. 1. Визначення профілю торцевого перерізу гвинтової поверхні

4) По формулах перетворення координат визначають відповідну точку торцевого перерізу поверхні деталі, тобто координати Z_1 і Y_1 .

$$Z_1 = Z_0 \cos \theta + (x_0 \sin \epsilon + y_0 \cos \epsilon) \sin \theta$$

$$Y_1 = (x_0 \sin \epsilon + y_0 \cos \epsilon) \cos \theta - Z_0 \sin \theta$$

Розроблене програмне забезпечення дозволяє розрахувати точки гвинтової канавки деталі, що оброблюється інструментом великого діаметру з будь-яким профілем (рис. 2).

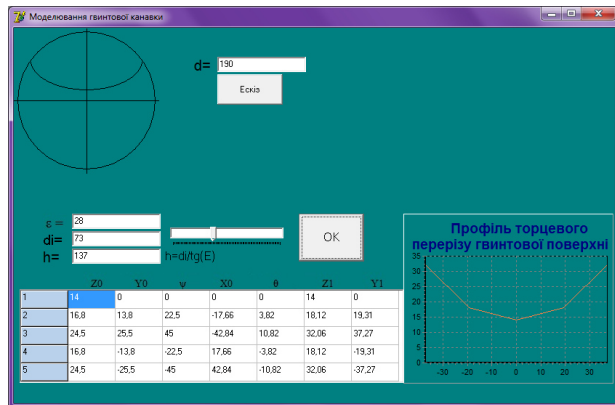


Рис. 2. Приклад визначення профілю гвинтової поверхні

Список використаних джерел:

1. Родин П.Р. Основы теории проектирования режущих инструментов / П.Р. Родин. — М.: Киев: Машгиз, 1960. — 160 с.

УДК 621.914.923

Кобзаренко Д.А.¹, наук. кер. Малафеев Ю.М.¹, к.т.н., доц., Еммер Т.², к.т.н.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: m.y.malaf@gmail.com

²Університет ім. Отто-фон-Геріке, м. Магдебург, ФРН

ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ТОЧНИХ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ

При виготовленні відповідальних деталей у сучасному машинобудуванні важливою складовою технології є фінішна обробка, виконувана на окремому обладнанні, наприклад, обробка точних плоских поверхонь. В цьому випадку висувають високі вимоги до відхилень від площинності. Вимушене зняття деталі призводить до її перевстановлення, що є причиною появи похибок базування та, як наслідок, зниження точності обробки.

Наприклад, після торцевого фрезерування, необхідно здійснювати шліфування з метою підвищення якості і отримання необхідного розміру, тобто потрібно розділяти послідовність обробки плоских поверхонь. При цьому процеси фрезерування і шліфування неможливо здійснювати на одному і тому ж обладнанні, тому високі вимоги до параметрів точності, що пред'являються до відхилень від площинності при обробці поверхонь великої протяжності і високій якості призводять до збільшення витрат на їх обробку.

Наявність сучасних новітніх обробних центрів дає можливість поєднувати різні схеми обробки з застосуванням комбінованих інструментів. Це дозволить з однієї установки за один прохід комбінованим інструментом виконати одночасно весь цикл обробки, підвищити точність, виключити появу погрешностей і підвищити продуктивність.

Шліфування плоских поверхонь, як оздоблювальний вид обробки, може здійснюватися периферією або торцем шліфувального круга. Другий спосіб більш універсальний і більш продуктивний. Так як площа контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею в цьому випадку більше, ніж при шліфуванні периферією круга, і кількість одночасно ріжучих абразивних зерен відповідно також більше. Однак при цьому зростає тепловиділення в порівнянні зі шліфуванням периферією круга [1, 2].

Сучасні інструменти часто поєднують в собі як результати теоретичних досліджень, так і практичний досвід їх використання. Такою комбінацією в даному випадку можливо поєднання процесів торцевого фрезерування і торцевого шліфування. Розглянемо докладніше два цих процесу обробки.

Фрезерування є процесом обробки металу різанням, під час якого фреза виконує головний обертальний рух, а заготовка поступальний рух подачі. Фрезерування є одним з найпродуктивніших видів обробки металу. Для обробки корпусних деталей, так і для обробки площин використовується торцеве фрезерування. Торцеві фрезерні головки виготовляються зі змінними

ріжучими пластинами, які можуть бути з швидкорізальної сталі, твердого сплаву, мінералокераміки.

Шліфування є процесом обробки металу зернами. Шліфування відноситься до категорії обробки металу геометрично невизначеною ріжучою кромкою. Плоске шліфування є високопродуктивним методом обробки великої кількості деталей машин із загартованих і незагартованих сталей, твердих сплавів, кераміки та інших матеріалів, при якому досягаються висока точність розмірів, форми і розташування шліфованих поверхонь, висока якість їх поверхневого шару.

У комбінованому інструменті повинні бути поєднані обидва види обробки. В даному випадку фрезерування розглядається як чорнова обробка, розрахована на зняття основного припуску і об'єму матеріалу, а шліфування приймається чистовим обробленням, розрахованим на зняття тільки вершин профілю шорсткості. Так як інструмент є осьовим, доцільно розглядати розташування фрезерувальних і шліфувальних елементів по радіусам. З логічних міркувань касети для фрезерування повинні розташовуватись на зовнішньому радіусові, тоді як шліфувальні касети на внутрішньому. Такий варіант запропонованого інструменту, що включає фрезерні і шліфувальні елементи, представлений на рис. 1.

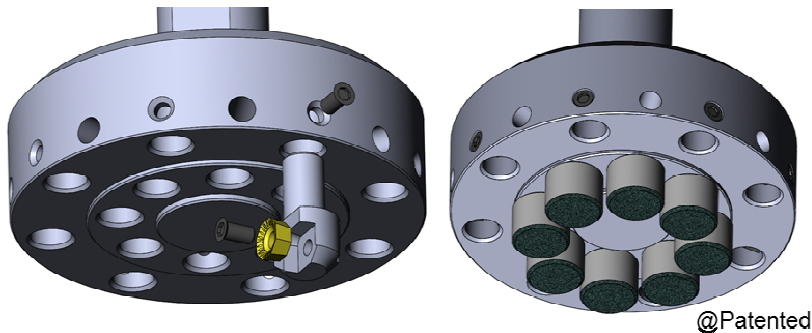


Рис. 1. Варіант запропонованого виду комбінованого інструменту

Такий комбінований інструмент запатентований і розглянутий більш детально в дисертаційній роботі [3]. У цій роботі розглянуті різні варіанти виконання інструменту. Проведено імітаційне моделювання оптимального розташування ріжучих касет і ріжучих пластин з урахуванням досліджень шорсткості і стружки що знімається, а також напруг, що виникають в касетах.

Для забезпечення процесу обробки шліфувальні касети повинні бути розташовані на 1-10 мкм вище від дотичної до ріжучої кромки пластини фрезерування. Це необхідно для того, щоб зрізати тільки вершини профілю шорсткості з метою поліпшення показника Ra.

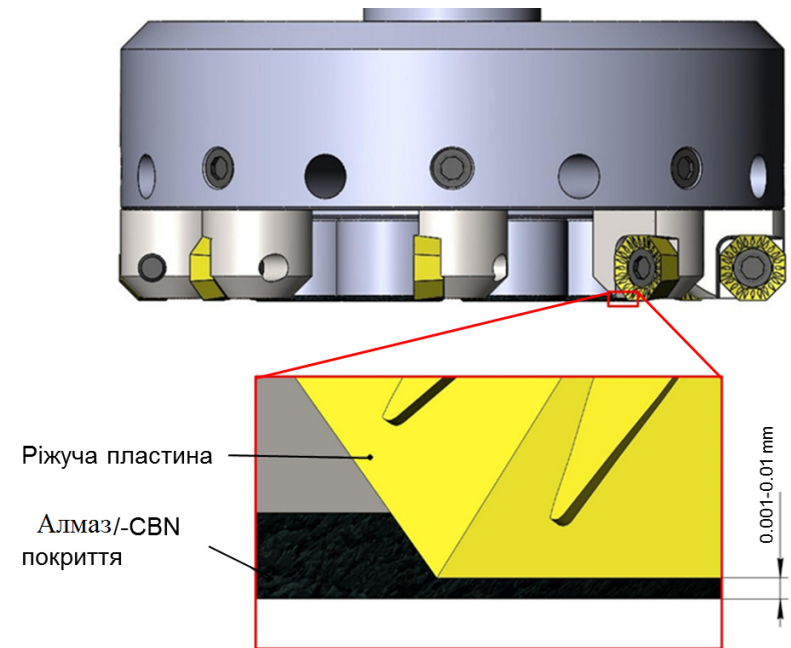


Рис. 2. Розташування ріжучих елементів на інструменті

Розберемо проблематику створення комбінованого інструменту на основній формулі теорії різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (\text{м/хв}) \quad (1)$$

де, V – швидкість різання, D – діаметр інструменту, n – швидкість обертання.

В своїй дисертаційній роботі «Процес утворення стружки та трибологічні процеси при шліфуванні на низьких швидкостях» Олександр Гіверцев розглянув описаний процес на прикладі однозернового досліді [4].

На наш погляд наступним етапом роботи є створення дослідного стенду на базі обладнання, на якому цей інструмент буде застосовуватися і на якому буде проведено попереднє фрезерування поверхні та шліфування шліфувальними елементами з гальванічно нанесеним кубічним нітридом бору і штучними алмазами (рис. 2).

Так як інструмент один, то швидкість обертання обирається однаковою для обох процесів. Тому змінюється лише діаметр (рис. 3).

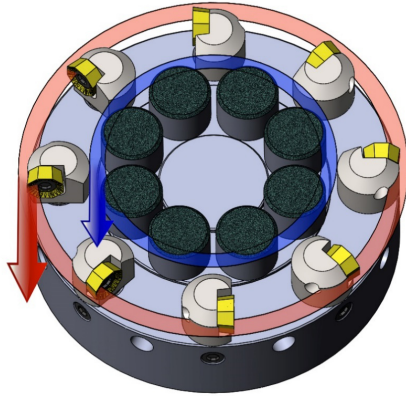


Рис. 3. Різниця швидкостей відносно діаметру інструменту

Процес шліфування повинен здійснюватися на більш високих швидкостях різання, у порівнянні із фрезеруванням. В даному випадку ця умова не дотримується і шліфування буде відбуватися на швидкостях значно менших рекомендованих. Тому необхідно проведення експериментів по встановленню оптимальних технологічних режимів, що забезпечують потрібну розмірну точність і високі вимоги по допустимим відхиленням від площинності і якості оброблених поверхонь.

З вищевикладеного необхідне зробити наступні висновки:

- на базі сучасного обробного центру створити дослідний стенд для проведення випробувань запропонованого комбінованого інструменту;
- провести дослідження по попередньому фрезеруванню та шліфуванню на низьких швидкостях шліфувальними елементами, враховуючи те що швидкість різання при фрезеруванні і шліфуванні повинна бути однаковою.
- встановити можливість отримання необхідних параметрів обробки що вимагаються;
- розрахувати повний обсяг витрат на реалізацію такого процесу і виявити його доцільність.

Список використаних джерел:

1. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бобошкин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении. – М.: Политехника, 2007. – 424 с.
2. Клепиков В.П., Бодров А.Н. Технология машиностроения. – М.: Форум, 2008. – 859 с.
3. Дисертація / Nguyen D. Potenzial eines Rundschaff-Fräswerkzeugsystems für Forschung und Produktion. Shaker: Aachen; 2009.
4. Дисертація / Giwierzew A., Spanbildungsmechanismen und tribologisches Prozeßverhalten beim Schleifen mit niedrigen Schnittgeschwindigkeiten: Dissertation, Universität Bremen, 2003.

УДК 621.914.923

Кобзаренко Д.А.¹, наук. кер. Малафеев Ю.М.¹, к.т.н., доц., Карпушевський Б.², проф.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: m.y.malaf@gmail.com

²Університет ім. Отто-фон-Геріке, м. Магдебург, ФРН

ДОСЛІДНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРОРОНОВАНОГО КОМБІНОВАНОГО ІНСТРУМЕНТУ

З метою досягнення поставленої мети - проведення випробувань запропонованого комбінованого інструменту, був створений дослідний стенд на базі фрезерного обробного центру DMU 60L DECKEL MAHO з числовим програмним управлінням, який представлений на рис. 1.

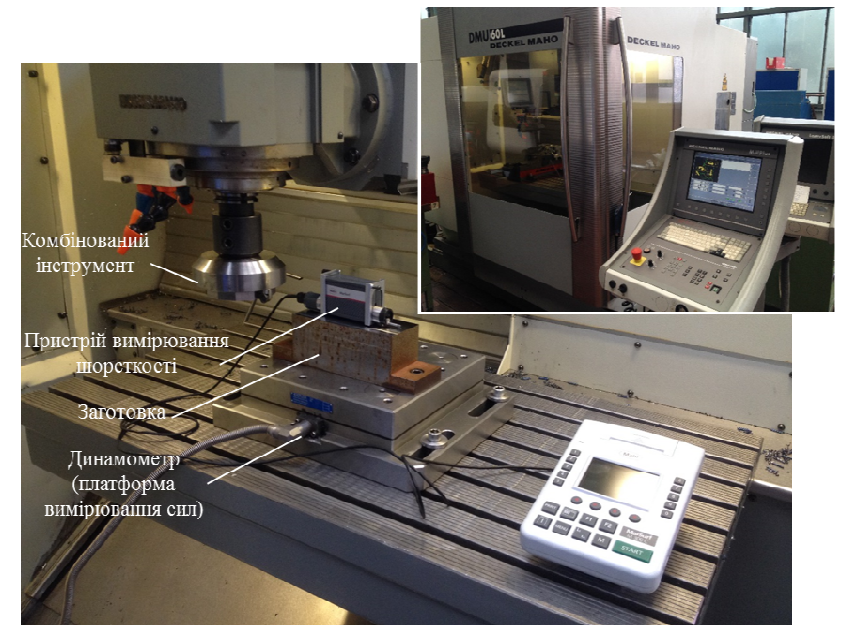


Рис. 1. Дослідний стенд для випробувань інструменту

У процесі шліфування після попереднього фрезерування поверхні шліфувальними елементами відбувається зрізання вершин виступів нерівностей профілю. Наочність такого зрізання вершин після фрезерування, інакше кажучи покращення поверхні шліфування була досягнута за допомогою надточного

профілометра для прецизійного і нормованого вимірювання шорсткості поверхні MARSURF M 300 C (див. рис.1). Він встановлюється на обробленій поверхні заготовки і являє собою рухому систему вимірювання з фільтром високих частот. Тобто ми отримуємо тільки шорсткість, відсіюючи хвилястість поверхні. Діапазон вимірювання складає 5,6 мм (11200 точок виміру), на якому вимірювальною голівкою радіусом 2 мкм вимірюється шорсткість [1].

Для фіксації процесів, що відбуваються під час обробки і їх використання для подальшого удосконалення комбінованого інструменту необхідно вимірювати величини сили тиску шліфувальних елементів на оброблювану поверхню. Для цього було встановлено динамометр Тур 9255В фірми Kistler [2]. Його технічні характеристики наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики динамометра Тур 9255В [2]

Область вимірювання Fx, Fy	-30 ... 30 кН
Область вимірювання Fz	-10 ... 60 кН
Калібрована область вимірювання Fx, Fy	0 ... 30 кН; 0 ... 3 кН
Калібрована область вимірювання Fz	0 ... 60 кН; 0 ... 6 кН
Закріплення	Вертикальне
Рекомендована температура вимірювань	-20 ... 70 °С
Вага	52 кг

З метою порівняння точностних характеристик і якості оброблюваної поверхні пропонованим інструментом необхідно провести ряд досліджень. Тому був прийнятий наступний порядок проведення експериментів:

1. Роздільне фрезерування поверхні змінними ріжучими пластинами, встановленими в торцевій голівці.
2. Вимірювання шорсткості після попереднього фрезерування поверхні профілометром MARSURF M 300 C.
3. Заміна фрезерних елементів в голівці на шліфувальні, визначення та встановлення необхідних поправок по висоті на верстаті.
4. Проведення процесу шліфування на заданій глибині та замір сил при шліфуванні за допомогою динамометра Тур 9255В.
5. Вимірювання шорсткості поверхні, обробленої шліфуванням після попереднього фрезерування.
6. Статистична обробка результатів експериментів, їх оцінка та висновки.
7. Прийняття рішення для реалізації фрезерувально-шліфувальної обробки одним комбінованим інструментом.

Список використаних джерел:

1. Пристрій вимірювання шорсткості MARSURF M 300 C MOBILE RAUHEITMESSGERÄT / MAHR / Режим доступу: <http://www.mahr.de/de/Leistungen/Fertigungsmesstechnik/Produkte/MarSurf---Mobile-Rauheitsmessger%C3%A4te/MarSurf-M-300-C---Mobiles-Rauheitsmessger%C3%A4t/>.
2. Динамометр / Kistler Instrument Corp / Режим доступу: <https://www.kistler.com>

УДК 621.923.1

Кобища С.С.¹, наук. кер. Сохань С.В.², д.т.н., ст.наук.сп.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: kebich95@mail.ru

²Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ, e-mail: svsokh@ukr.net

ПРОФІЛЬНЕ ШЛІФУВАННЯ ЗУБЧАТИХ КОЛІС

Зубошліфування є одним з основних способів фінішної обробки загартованих зубчастих коліс. Воно призначене для усунення деформацій, що виникають при хіміко-термічній обробці, і забезпечує 3-6-у ступінь точності і шорсткість поверхні $Ra = 0,20-1,2$ мкм.[1]

Шліфування зубчастих коліс здійснюють на зубошліфувальних верстатах методом обкатки, або профільним копіюванням, застосовуючи фасонні шліфувальні круги.

Одним з основних показників продуктивності при шліфуванні є відносний об'єм зняття стружки у часі Q'_M . Нижче наведена формула для розрахунку цього показника. [2]

$$Q'_M = \frac{a_e \times V_M}{60},$$

де a_e - поперечна подача в мм/хв

V_M - швидкість заготовки в мм/хв

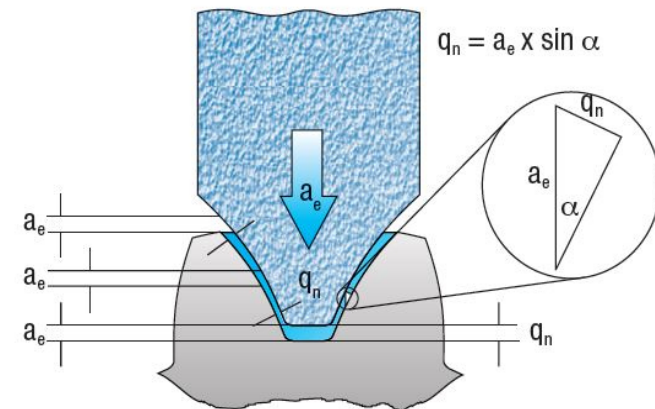


Рис. 1. Зображення подач при кожному ході шліфувального круга

Відносний об'єм зняття стружки V'_M застосовується при однопрофільному шліфуванні зубчастих коліс, для того щоб встановити періоди правки

шліфувального круга. Це означає, що визначається, скільки мм^3 матеріалу може зняти 1 мм ширини даного круга, перш ніж від нього буде правитись. Величина V_M' зв'язана в першу чергу від матеріалу заготовки (твердості) і від властивостей шліфувального круга. При виборі шліфувального круга варто прийняти до уваги наступне: надати перевагу кругу з великою пористістю, для того щоб був простір для стружки, чи використовувати круги з меншою пористістю, у яких дуже малий об'єм пор, що в свою чергу зменшить засалення шліфувального круга.

$$V_M' = Q_M' \times t,$$

де t - час шліфування

При використанні спеченого електрокорунда 93A та 93S (55N) ця величина може досягати 800 мм^3 на 1 мм ширини шліфувального круга. [2]

Отже при виборі шліфувального круга слід приділяти дуже велику увагу саме абразивному матеріалу, з якого виготовляється той чи інший круг.

Що стосується значення середньої товщини стружки, то тут доцільно використовувати слово «теоретичне», тому що ніхто точно не знає яким чином вона утворюється. В процесі шліфування стружка скорочується, випрямляється, а потім зварюється. Але на основі кінематики та подачі на врізання товщина стружки може бути теоретично розрахована як модель. При профільному шліфуванні ці товщини мають наступні значення:

- Чистове шліфування: 0,10 мкм;
- напівчистове шліфування: 0,25 мкм;
- чорнове шліфування: 0,50 мкм

Формула для розрахунку теоретичного значення товщини стружки має наступний вигляд:

$$h_{\text{мом}} = \frac{a_s \times V_M}{V_C \times 60 \times 1000'}$$

де a_s - поперечна подача в $\text{мм}/\text{хв}$

V_C - швидкість на периферії

Теоретичне значення середньої товщини стружки при заданих параметрах як наприклад поперечна подача a_s , швидкість деталі V_M , та швидкість на периферії V_C відповідають результуючому заглибленню окремого абразивного зерна на половині пройденого шляху окремого абразивного зерна на контактній кривій l_k .

Як показує досвід, що при середній товщині стружки більше ніж 0,5 мкм шліфувальний круг руйнується і втрачає свою форму. А при товщині стружки меншої ніж 0,1 мкм, процес різання переходить в процес тертя і виникає небезпека утворення припалів. [2]

Всупереч широко поширеній думці, що припали утворюються тільки на стадії чорнового оброблення, найчастіше вони виникають саме на стадії чистового оброблення. Причиною цього є нерівномірний розподіл припусків при кінцевій обробці.

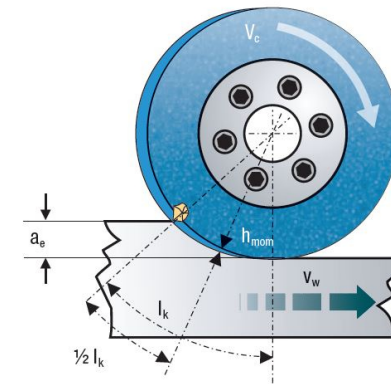


Рис. 2. Поверхня контакту шліфувального круга та заготовки

Припуск при чистовій обробці повинен складати 0,015...0,025 мм на бокову поверхню зуба при подачі 1.500...2.500 мм/хв. Ефективна подача по осі X залежить від кута профілю.

- Якщо кут профілю дорівнює 15° то $x=0,06...0,08$ мм
- Якщо кут профілю дорівнює 20° то $x=0,04...0,06$ мм

Якщо подача на глибину менше 0,015 мм на зуб, то в цьому випадку абразивне зерно не приймає участі в процесі різання, а лиш тисне на поверхню і цим самим створює тепло, яке в свою чергу може призвести до припалів.

Якщо подача на глибину 0,015...0,025 мм на зуб, то в цьому випадку відбувається процес різання, але не відбувається відколювання зерна, завдяки чому виникає необхідність правки шліфувального круга. При чистовій обробці відносний об'єм зняття стружки набагато менший ніж при чорновій. Цей діапазон подач вважається ідеальним.

Якщо подача на глибину більше ніж 0,03 мм на зуб, то в даному випадку не відбувається відколювання абразивного зерна. Через дуже велику силу різання шліфувальний круг дуже сильно зношується. Зерна абразиву стають притупленими, що призводить до виділення додаткового тепла, внаслідок чого можливий припал.

Список використаних джерел:

1. С.В. Рябенко Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами / ИСМ им. Бакуля НАН Украины, г. Киев – 2014
2. Profilschleifen von Zahnradern [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <http://www.schleifprofi.com/schleifverfahren/zahnflankenschleifen/profilschleifen-von-zahnradern/>

УДК 621. 941.005

Козелець В.В., наук. кер. Войтенко В.І., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: V.Voitenko@inbox.ru

ВПЛИВ СТІЙКОСТІ РІЗЦЯ НА СОБІВАРТІСТЬ ПРИ ТОЧІННІ

Наведено результати моделювання впливу заданої стійкості різця на собівартість чорнового точіння на верстаті HAAS_ST-10Y. Значення стійкості різця задавалися в діапазоні 5 – 240 хв.

З метою оцінки залежності собівартості точіння від заданої стійкості різця використовувався інтерактивний модуль "P4110-1" комбінованої системи автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки "Sapr_2014" [1,2]. Модуль, при заданих розмірах поверхні і якісних характеристиках до поверхні, забезпечує інтерактивний вибір різця і його параметрів, розрахунок і призначення режимів різання в широкому діапазоні варіантів факторів, що впливають на процес різання. Визначаються також витрати часу, витрати енергії і собівартість переходу. Складові розрахунку режимів різання і собівартості виводяться на екран для ознайомлення і зберігаються у відповідному файлі. Опис переходу виводяться на екрані і зберігається в файлі - робочому варіанті технологічного процесу. Також формується і зберігається файл, що містить G – коди для керування верстатом з ЧПК.

Моделювалось точіння на токарному верстаті з ЧПК моделі HAAS_ST-10Y циліндричної поверхні ф100 довжиною 200 мм з вимогами до шорсткості поверхні Ra3,2 мкм. Вартість верстата за курсом НБУ становить(складає) 924875 грн. Матеріал деталі – Сталь 45. Глибина різання становила 5 мм. Використовувався різець SCLCR2020. Різець прохідний з ромбічною пл., 20х20, T5K10, TY 2-035-1040-86. Вартість різця – 187,5 євро. Було виконано 9-ть варіантів виконання переходу при значеннях «стійкості» різця - 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 и 240 хв.

На рис.1 подано скріншот при заданій стійкості 40 хвилин.

Далі подано два фрагмента лістингу файла "Text.txt" (задана стійкість 5 та 240 хв.):

В,"4601 Токарна з ЧПУ . ИОТ 63"

Д,"Токарний верстат з ЧПУ HAAS_ST-10Y"

* Etap=E4; Stijk = 5 хв; Поверхня № 0

О,"Точити поверхню Ф 100h14(-0.870), L= 200, Ra 3.20"

Т,"SCLCR2020 Різець з ромбічною пл., 20х20, T5K10, TY 2-035-1040-86"

Р," t= 5.00 мм, S= 0.578 мм/об, V= 167.76 м/хв, n= 534 об/хв, N= 12.5 кВт"

Е," Тосн= 0.686 хв, А= 8.557 кВт*хв; С= 7,37 грн "

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

* Etap=E4; Stijk = 240 хв; Поверхня № 0

О,"Точити поверхню Ф 100h14(-0.870), L= 200, Ra 3.20"

Т,"SCLCR2020 Різець з ромбічною пл., 20х20, T5K10, TY 2-035-1040-86"

Р," t= 5.00 мм, S= 0.578 мм/об, V= 35.19 м/хв, n= 112 об/хв, N= 3.4 кВт"

Е," Тосн= 3.114 хв, А= 10.685 кВт*хв; С= 4,08 грн "

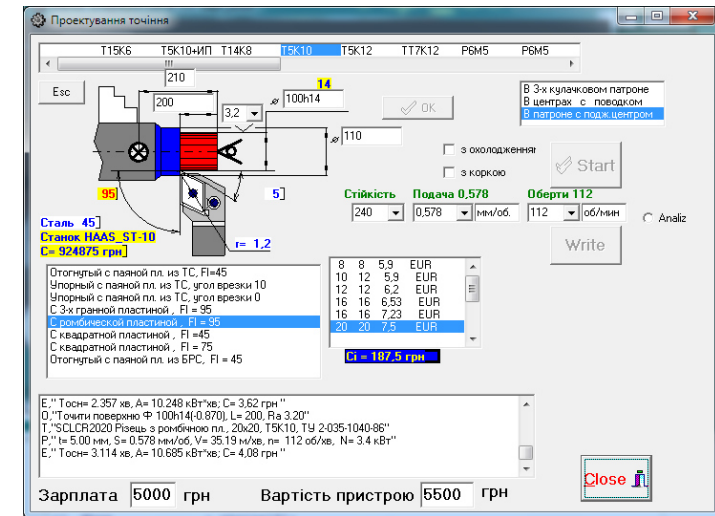


Рис. 1. Скріншот при моделюванні точіння в програмному засобі «Sapr_2014»

Далі подано два фрагмента лістингу файла "Sobivartis.txt" (задана стійкість 5 та 240 хв.):

ф 100h14(-0.870) Стійкість= 5,00 хв; Тосн= 0,69 хв;

Ставка= 5000 грн; Зарплата основна= 0,33 грн; Зарплата додаткова=0,00

грн;

Зарплата повна= 0,33 грн;

Ціна інструмента= 187,50 грн; Норматив на заточку= 5 хв; Кількість переточок= 4;

Витрати на інструмент= 6,40 грн;

Вартість Верстата= 924875,00 грн; Амортизаційні витрати= 0,36 грн;

Витрати на ремонт= 0,01 грн;

Потужність верстата= 11,20 кВт; Потужність різання= 12,48 кВт;

Витрати на електроенергію= 0,26027 грн;

Вартість пристрою= 5500,00 грн; Витрати на пристрій= 0,02 грн;

Собівартість переходу= 7,37 грн;

ф 100h14(-0.870) Стіякість= 240,00 хв; Tosn= 3,11 хв;
Ставка= 5000 грн;Зарплата основна= 1,49 грн; Зарплата додаткова=0,00

грн;

Зарплата повна= 1,49 грн;

Ціна інструмента= 187,50 грн; Норматив на заточку= 5 хв; Кількість переточок= 4;

Витрати на інструмент= 0,61 грн;

Вартість Верстата= 924875,00 грн; Амортизаційні витрати= 1,61 грн;

Витрати на ремонт= 0,02 грн;

Потужність верстата= 11,20 кВт; Потужність різання= 3,43 кВт;

Витрати на електроенергію= 0,32500 грн;

Вартість пристрою= 5500,00 грн; Витрати на пристрій= 0,02 грн;

Собівартість переходу= 4,08 грн;

На рис. 2 подана секторна діаграма, що відображує складові собівартості переходу при стійкості інструменту 45хв.



Рис. 2. Структура собівартості при стійкості 45 хв

На рис. 3 приведена діаграма залежностей собівартості переходу, основної складової норми часу, швидкості і сили різання від заданої стійкості в діапазоні 5 – 240 хв.

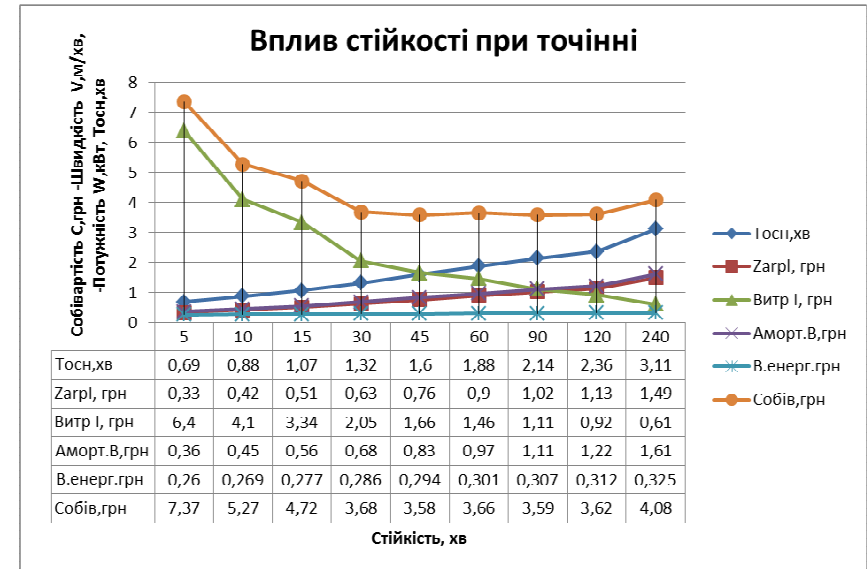


Рис. 3. Діаграма залежностей собівартості переходу та основної складової норми часу та складових собівартості - витрат на зарплату, на ріжучий інструмент, амортизацію, електроенергію від заданої стійкості різця

Аналіз результатів свідчить, що мінімальна собівартість переходу при заданих характеристиках технологічної системи відповідає стійкості в 45 хв. Також можна зробити висновок, що трудомісткість виконання переходу буде найменшою при найменших значеннях стійкості. У той же час потужність різання менше при найбільших значеннях стійкості. При цьому, якщо коефіцієнт підвищення стійкості від 5 хв до 240 хв складає 48, то трудомісткість зростає від 0,69 хв до 3,11 хв, тобто зростає тільки в 4,5 рази, а потужність різання від 12,48 кВт зменшується до 3,43 кВт – тільки в 3,64 рази. Аналіз складових собівартості переходу при стійкості 45 хв свідчать, що найбільші витрати складають витрати на інструмент – 46 %, а витрати на амортизацію верстата складають лише 23%.

Список використаних джерел:

1. В.І. Войтенко. Програмний продукт „Система автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки SAPR_2014” (“SAPR_2014”). Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 54522. від 30.04.2014. Державна служба інтелектуальної власності України. Бюлетень. "Авторське право та суміжні права" № 33.
2. Системи автоматизованого проектування технологічних процесів машинобудування : навч. посіб. / Войтенко В.І. - К.: НТУУ „КПІ”, 2012. -232 с. –Гриф МОНМС України від 21.02.2012 р.

УДК 519.237.5: 621.9

Коноваленко Г.К., Лапач С.М.Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: konovalenko.ganna@gmail.com, lapach@ukr.net**РОБАСТНИЙ СИМПЛЕКС НА ОСНОВІ ЛП_т ЧИСЕЛ****Проблема:** відсутність робастних планів типу «склад + технологія».**Стан.** В прикладних задачах досить часто зустрічаються випадки, коли частина факторів сумарно зв'язана залежністю $\sum_{i=1}^K x_i = 100\%$. Це може бути склад

сплаву, суміші для охолодження тощо. Для таких задач існують так звані плани на симплексі. Але ці плани мають в своєму складі тільки фактори суміші. На жаль в реальних задачах часто необхідно в одному дослідженні об'єднувати ці фактори з іншими, наприклад, параметрами технології. В традиційних планах включення всіх факторів складу неможливе в зв'язку їх залежністю. Плани, які б включали в себе склад і технологію не розробляються, а механічне об'єднання симплексу з іншими видами планів створює план з незадовільними статистичними властивостями.

Мета. Визначити можливість побудови плану склад + технологія основі робастних планів, побудованих на рівномірно розподілених в багатфакторному просторі ЛП_т чисел [2].**Результати досліджень.**Ідея побудови полягає в наступному. Оскільки ЛП_т числа рівномірно розподілені в багатовимірному просторі [5, 6], то можливо відібрати з них частину, яка після коригування буде приблизно задовольняти умові «сума елементів складу дорівнює 100%» і при цьому залишатись рівномірно розміщеними в багатфакторному просторі.

Для формування матриці пропонується наступний алгоритм відбору підмножини.

1. Генерується рядок ЛП_т чисел.2. Перевіряється виконання умови $s_{кр} < \sum_{i=1}^{M-1} x_{ji} < 1; \forall j \in [1, N]$, $s_{кр}$ – мінімальнакритична межа відбору рядка ЛП_т чисел, а M – кількість факторів складу, N – число експериментів, x_{ji} – значення ЛП_т числа для j -го експерименту i -го фактору. Якщо умова виконується – робота продовжується, інакше – виконується перехід в п.1.3. Виконується розрахунок останнього фактору $x_{jM} = 1 - \sum_{i=1}^{M-1} x_{ji}$.4. Якщо всі N експериментів побудовано, то робота закінчується, інакше – перехід в п.1.**ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ**

Проведено обчислювальний експеримент по дослідженню можливості реалізації ідеї. Експериментально встановлено, що найкращі результати отримуються при $s_{кр}=0,01$. Збільшення критичного значення приводить до покращення статистичних характеристик плану, але при цьому погіршуються геометричні характеристики. Точки плану групуються у вершин симплексу, залишаючи основний факторний простір порожнім. Для задовільних характеристик достатньо перебір не більше 1024 випадкових точки. Задовільні статистичні характеристики для плану з 6 факторів (три технологічних + три компоненти) можливі з 32 дослідів. При збільшенні числа дослідів статистичні характеристики очікувано кращають.

Фрагмент плану з трьома факторами «склад» (F1...F3) і трьома «технологічними» (F4...F6) факторами на 64 досліди приведено в табл. 1. Рис. 1 представляє діаграму розсіяння для двох факторів «складу». З нього видно, що геометричні властивості плану – рівномірне розміщення точок в просторі – збереглися. Правда, ця рівномірність приблизна: чим менше точок плану тим більша нерівномірність. І, навпаки, чим більше експериментів в плані, тим ближче розсіяння точок до «ідеального» (вихідного) плану. Це можна бачити з рис. 2, який представляє аналогічну діаграму для 512 дослідів.

Деякі статистичні характеристики плану (кореляція між ефектами першого порядку) приводяться в табл. 2 і можуть бути оцінені тільки як задовільні. Такий план потребує ефективних алгоритмів визначення конкретної структури рівняння регресії. Пояснюється такі характеристики – досить високі коефіцієнти кореляції – формою факторного простору, яка є сильно деформована за своїм завданням і має фізичну залежність між факторами складу.

Таблиця 1. Фрагмент плану типу «склад + технологія»

№ дослідів	Фактори					
	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6
1	0,25	0,1875	0,5625	0,5	0,5	0,5
2	0,0625	0,75	0,1875	0,75	0,25	0,75
3	0,078125	0,796875	0,125	0,25	0,75	0,25
4	0,625	0,078125	0,296875	0,875	0,625	0,125
5	0,484375	0,375	0,140625	0,375	0,125	0,625
6	0,058594	0,878906	0,0625	0,125	0,875	0,875
...	...	...	...	...	...	...
60	0,10675	0,479187	0,414063	0,140625	0,140625	0,578125
61	0,101563	0,083313	0,815125	0,640625	0,640625	0,078125
62	0,20575	0,601563	0,192688	0,890625	0,390625	0,328125
63	0,024719	0,623718	0,351563	0,390625	0,890625	0,828125
64	0,226563	0,100891	0,672546	0,382813	0,976563	0,195313

32 досліді є оптимальною для 6 факторів з точки зору компромісу між затратами ресурсів і ймовірністю досягнення результатів. При наявних характеристиках необхідні ефективні засоби визначення структури моделі [1].

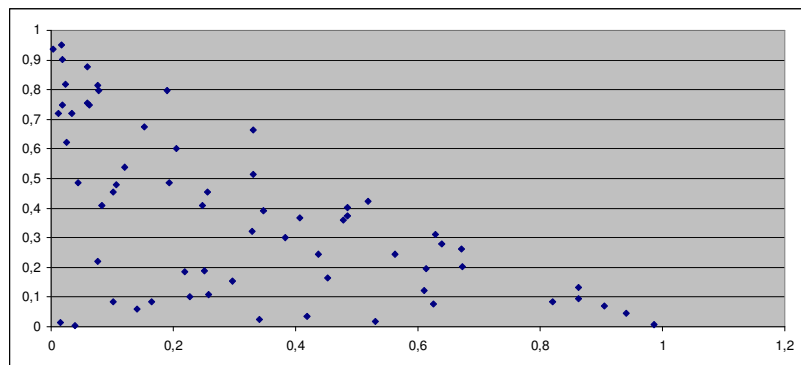


Рис. 1. Діаграма розсіювання перших двох факторів плану (6 факторів, 64 досліді)

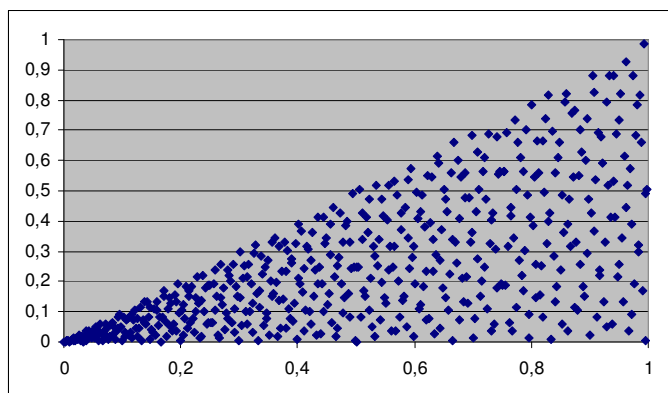


Рис. 2. Діаграма розсіювання при 512 дослідіах

Таблиця 2. Коефіцієнти кореляції факторів першого порядку плану

Фактори	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6
F2	-0,5997	1				
F3	-0,41953	-0,47481	1			
F4	0,058711	0,014101	-0,08057	1		
F5	-0,05025	-0,06914	0,133694	-0,04209	1	
F6	0,12022	-0,06062	-0,06345	-0,03725	0,120256	1

При зростанні кількості дослідів збільшується частка слабкозакорельованих ефектів і зменшується сильнозакорельованих (рис. 3). На жаль, цей шлях удосконалення подібних планів обмежуються вимогою мінімізувати затрати на проведення експериментальних досліджень.

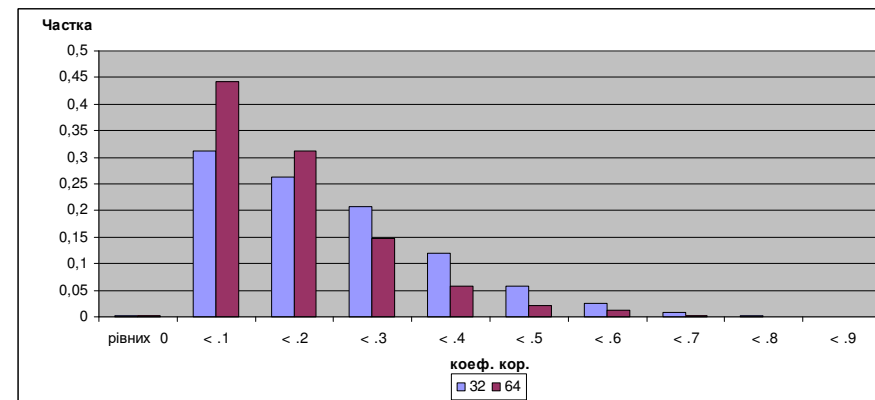


Рис. 3. Діаграма розподілу коефіцієнтів кореляції планів на 32 і 64 досліді

Для формування розроблених планів розроблено макрос, який забезпечує варіант генерації робастних планів на основі ЛП_r чисел для програмного засобу ПРИАМ-Ех (планування, регресія і аналіз моделей для середовища Excel).

Висновки і рекомендації.

Розроблений алгоритм і програма дозволяє формувати робастні плани експерименту класу «склад + технологія», яких раніше не існувало. Плани мають хороші геометричні характеристики і задовільні статистичні при прийнятному для прикладних досліджень числі експериментів. Покращення характеристик планується досягти за рахунок алгоритмів планування в пасивному експерименті [3] і перетворення факторного простору [4].

Список використаних джерел:

1. Лапач С.Н., Радченко С.Г., Бабич П.Н. Планирование, регрессия и анализ моделей PRIAM (ПРИАМ) / Каталог программные продукты Украины. К.: 1993. С. 24-27.
2. Лапач С.Н., Пасечник М.Ф., Чубенко А.В. Статистические методы в фармакологии и маркетинге фармацевтического рынка – К.: 1999, ЗАТ “Укрспецмонтаж” – 312с.
3. С.Н. Лапач . Планирование в пассивном эксперименте. Математичні машини і системи, 2013, № 4, С. 156–160.
4. Радченко С.Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей – К.: ПП «Санспарель», 2005. – 504с.
5. Соболев И.М. Точки, равномерно заполняющие многомерный куб. – М.: Знание, 1985.– 32с.
6. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 111с.

УДК 621.992.7

Коростильов В. Ю., наук. кер. **Бецко Ю. М.**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: betsko.uri@gmail.com**ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ШИРИНИ ПЕРИФЕРІЙНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ**

На сьогодні фрезерування є найпродуктивнішим методом лезового оброблення металів, а тому і одним з найпоширеніших при обробленні деталей машин. Фреза – багатолезовий інструмент, застосовуваний для оброблення площин, пазів, тіл обертання, фасонних поверхонь і розрізання заготовок. Високу продуктивність при цьому забезпечує одночасна участь в роботі декількох зубів. Існує дві кінематичні схеми фрезерування – торцеве фрезерування і периферійне, а також їх комбінація – комбіноване фрезерування. При периферійному та комбінованому фрезеруванні (рис. 1) якість поверхні формується зубцями фрези, що знаходяться на циліндричній поверхні, при цьому різальна кромка має велику довжину, яка дорівнює ширині фрезерування b .

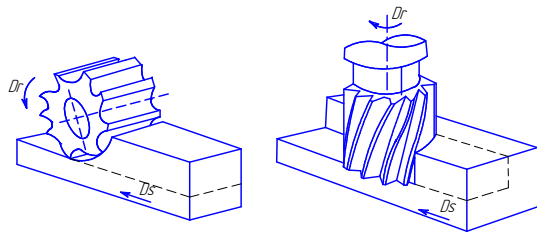


Рис. 1. Кінематичні схеми периферійного та комбінованого фрезерування

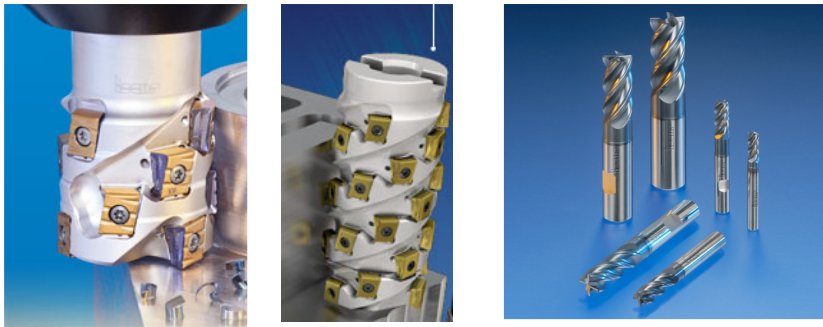


Рис. 2. Сучасні конструкції фрез з гвинтовим зубом для периферійного та комбінованого фрезерування

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Оскільки процес фрезерування є преривчастим, то різальні кромки вступають в роботу періодично і контактують з поверхнею різання на ділянці кута контакту ψ , але і при цьому зуб працює з змінною товщиною зрізаного шару, який для миттєвого значення кута контакту η визначається

$$a_{\eta} = S_z \cdot \sin \eta \quad (1)$$

З зазначеного видно, що процес фрезерування характеризується непостійністю сумарних силових характеристик – окружної сили, крутного моменту, поздовжніх та поперечних сил. Це збурення призводить до появи вібрацій, що негативно впливає на якість обробленої поверхні, стійкість інструменту, роботу приводу верстата. Для більш плавної роботи абсолютна більшість фрез випускають зі спіральним розташуванням зуба, який має кут підйому гвинтової лінії λ . Але і це не дозволяє забезпечити великого значення рівномірності виникаючих сил. Розглянемо можливість вдосконалення процесу фрезерування, підбираючи оптимальну ширину фрезерування b . Крок зубів по торцю фрези визначається:

$$l_r = \frac{\pi D}{z} \quad (2)$$

Осьовий крок зубців фрези:

$$l_o = \frac{\pi D}{z \tan \lambda} \quad (3)$$

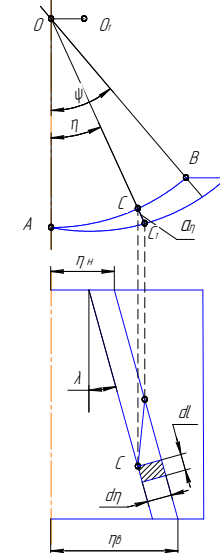


Рис. 3. Визначення перерізу зрізаного шару фрези з гвинтовим зубом

Для фрези з гвинтовим зубом кут повороту зуба буде різним для кожної точки різальної кромки (рис. 3) тому можна вести річ про кут повороту та

товщину зрізаного шару тільки для певної точки S . Розглянемо елемент ширини зрізу dl в точці S при куті η . Площа перерізу буде визначатися:

$$df = a_n \cdot dl = S_z \cdot \sin \eta dl \quad (4)$$

$$dl = \frac{D}{2 \sin \lambda} d\eta \quad (5)$$

Тоді:

$$df = S_z \cdot \sin \eta \frac{D}{2 \sin \lambda} d\eta \quad (6)$$

Сумуючи ці площинки по всій ширині зрізу в межах від $\eta = \eta_{\text{Н}}$ (нижня границя кута) до $\eta = \eta_{\text{В}}$ (верхня границя кута) отримуємо:

$$f = \int_{\eta_H}^{\eta_E} \frac{S_z D}{2 \sin \lambda} \cdot \sin \eta \, d\eta = \frac{S_z D}{2 \sin \lambda} (\cos \eta_H - \cos \eta_E) \quad (7)$$

або

$$F = \sum f = \frac{S_2 D}{2 \sin \beta} \sum (\cos \eta_{\text{н}} - \cos \eta_{\text{в}}) \quad (8)$$

Для визначення умови рівномірності спробуємо скласти величини зрізаних шарів для всіх зубів, що знаходяться в зоні різання. Таким чином, для зубів, які врізаються, загальною кількістю n_1 маємо $\cos \eta_n = 1$ і тоді:

$$\sum (\cos \eta_{\text{H}} - \cos \eta_{\text{B}}) = n_1 - \cos \eta_{\text{B1}} - \cos \eta_{\text{B2}} - \dots - \cos \eta_{\text{B}n_1}, \quad (9)$$

для зубів з повним різанням кількістю $n_0 - \cos \eta_H = 1$, $\cos \eta_H = \cos \psi$ і

$$\sum (\cos \eta_{\text{R}} - \cos \eta_{\text{B}}) = n_{\text{p}}(1 - \cos \psi), \quad (10)$$

для зубів, що виходять з зони різання в кількості n_2 :

$$\begin{aligned} \sum(\cos \eta_{\kappa_1} - \cos \eta_{\kappa_2}) &= \sum(\cos \eta_{\kappa_1} - \cos \psi) = \\ &= \cos \eta_{\kappa_1} + \cos \eta_{\kappa_2} + \dots + \cos \eta_{\kappa_{n_2}} - n_2 \cos \psi \end{aligned} \quad (11)$$

Якщо ширина фрезерування b буде кратна осьовому кроку, то отримуємо:

$$n_1 = n_2 \quad n_1 + n_0 = n_2 + n_0 = \frac{b}{l_0} = \text{const} = K \quad (12)$$

TOMY

$$\Sigma(\cos\eta_{\text{N}} - \cos\eta_{\text{S}}) = (n_1 + n_0)(1 - \cos\psi) = K(1 - \cos\psi) \quad (13)$$

або

$$\Sigma(\cos \eta_{\text{H}} - \cos \eta_{\text{E}}) = \frac{bs \tan \lambda}{\pi D} (1 - \cos \psi) \quad (14)$$

Отже маємо значення сумарної товщини зрізаного шару по всім працюючим зубам фрези:

$$F = \frac{bzS_z}{2\pi \cos \lambda} (1 - \cos \psi) \quad (15)$$

а, оскільки при глибині різання h :

$$1 - \cos \psi = \frac{2h}{D} \quad (16)$$

TO

$$F = \frac{bzS_z h}{\pi D \cos \lambda} \quad (17)$$

Тепер можна стверджувати, що умова рівномірності фрезерування виглядає так:

$$K = \frac{b \tan \lambda}{\pi D} \quad (18)$$

Це можна проілюструвати графіком на рис. 4.

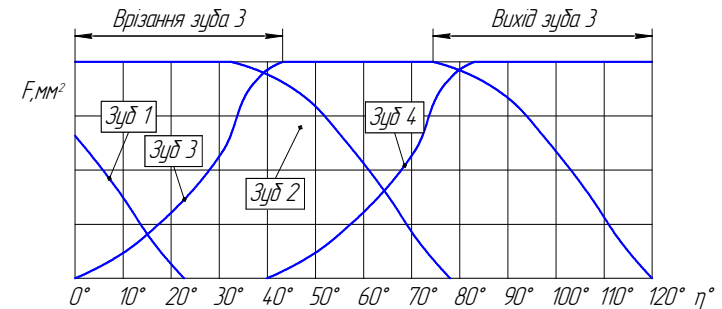


Рис. 4. Графік зміни миттєвої величини перерізу зрізуваного шару гвинтовими зубами фрези при периферійному фрезеруванні.

Таким чином, при виконанні даної умови, кожний зуб, що виходить з зони різання, дає стружку, переріз зрізу якої в сумі з перерізом зрізу зуба, що входить, має постійну величину. Ця величина дорівнює максимальному перерізу, який є на зубі, що повністю знаходиться в зоні контакту з заготовкою. Це означає, що теоретично, величини окружної сили, крутного моменту і потужності повинні залишатися постійними.

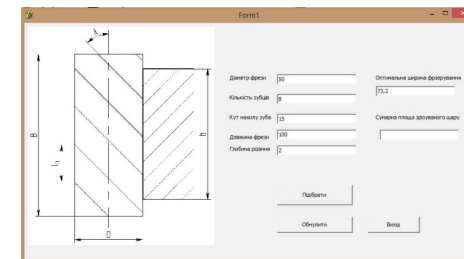


Рис. 5. Інтерфейс прикладної програми.

Використавши вищезазначені висновки було розроблено прикладну програму, за допомогою якої можна розрахувати оптимальну ширину фрезерування та сумарну площу зрізуваного шару (рис. 5).

Список використаних джерел:

1. Рудник С. С. Основы теории фрезерования. Часть 1. Силовые зависимости при фрезеровании. Конспект лекций // Киев КПИ. – 1962. – 80 с.:іл.
2. Мазур М. П. Основы теорії різання матеріалів: підручник. – Львів: Новий світ–2000, 2010. – 422 с.
3. Ящерицын П.И. Теория резания: учеб./ П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич.- Мн.: Новое знание, 2005.-512с.

УДК 629.07

Костромін С.Е., *наук. кер. Медведєв В.В., к.т.н., доц.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: sergkostromin@gmail.com, vadim.medvedev@ua.fm**АВТОМАТИЗОВАНІ КЕРОВАНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ В ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ**

Підйомно-транспортне обладнання у гнучких виробничих системах (ГВС) використовує різні види транспортного обладнання, лінійні (рядні) механізми передачі, і промислову робототехніку. Одним з перших питань при побудові гнучкого автоматизованої ділянки є вибір транспортної системи.

У ГВС використовуються первинні і вторинні транспортні системи [1]. Первинна транспортна система встановлює облаштування ГВС і відповідає за переміщення деталей між устаткуванням. Вторинна транспортна система складається з передавальних пристроїв, автоматичних механізмів заміни паллет та інших механізмів, що переміщують деталі з первинної транспортної системи у робочу зону обробляючого центра або іншого устаткування.

Існує п'ять основних видів планувань ГВС [2].

1. Лінійне планування. При цьому виді планування механізми та транспортні системи розташовані в лінію, тобто деталі переміщуються односпрямовано з одного устаткування до наступного без зворотного руху. Гнучкість маршрутизації при цьому може бути підвищена завдяки застосуванню лінійних транспортних систем з двонаправленими потоками – це може бути здійснено для того, щоб відокремити більшість деталей від первинної лінії. Цей вид планування використовує лінійні переміщуючі системи, конвеєрні системи та рейкові транспортні засоби.

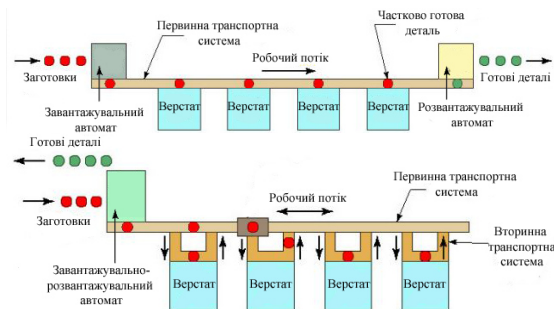


Рис. 1. Однонаправлене та двонаправлене лінійне планування

2. Колове (циклічне) планування. Робочі станції при цьому виді планування організовані в коло, що обслуговується коловою транспортною системою. Деталі рухаються в одному напрямку петлею з можливістю зупинки

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

для передачі на іншу станцію. Кожна станція має внутрішню вторинну транспортну систему для того, щоб деталь могла бути доставлена окремо на устаткування та відвезена з неї назад до колової транспортної системи. Станції розгрузки/загрузки найчастіше розташовані в одній і тій же зоні. Альтернативою коловому плануванню є прямокутне розташування (рис. 2), при якому відкривається можливість повернення паллет до початкової позиції в лінійному розміщенні.

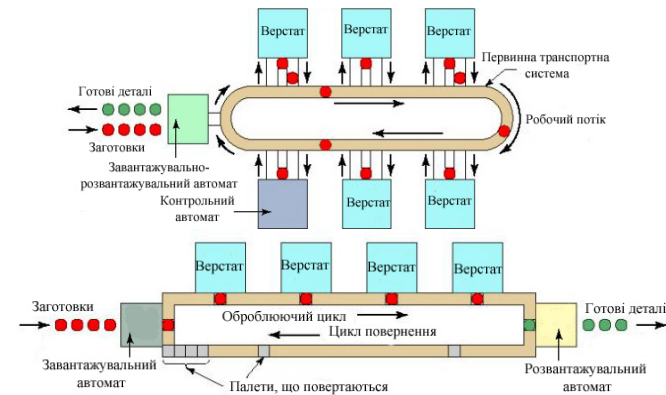


Рис. 2. Колове (циклічне) та прямокутне планування

3. Робото-збазоване планування. Цей вид планування використовує одного або більше роботів-маніпуляторів як транспортну систему (рис. 3).

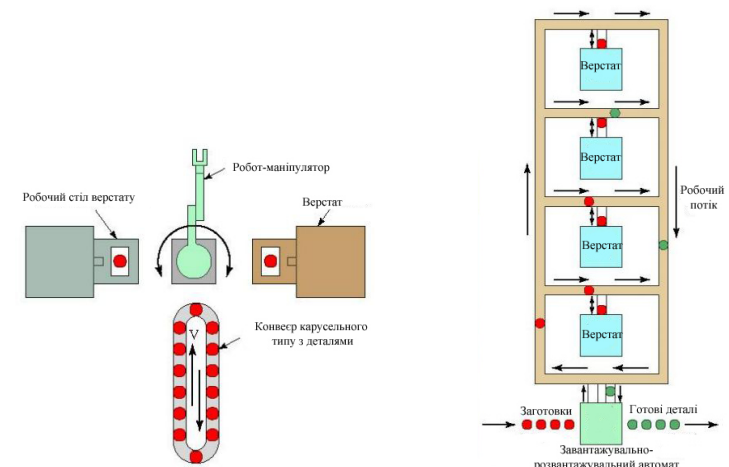


Рис. 3. Робото-збазоване та сходинкове планування

4. Сходинкове планування. Цей вид планування складається з кола та сходинок, що проходять крізь устаткування. Тобто устаткування розташоване всередині транспортного ланцюга. Ці «сходинки» збільшують число можливих шляхів переміщення з одного верстату до іншого та уникає необхідності в вторинній транспортній системі, як показано на рис. 3. Також при цьому плануванні зменшується середня відстань переміщення та мінімізуються перевантаженість в транспортній системі, що зменшує час переміщень між станціями.

5. Відкрите планування. Цей вид планування характеризується великою кількістю транспортних систем сходинкового планування, а також може мати відгалуження (рис. 4). Це планування взагалі використовується для оброблення великої номенклатури деталей. Різноманітність верстатів при цьому виді планування може бути обмеженою, тобто деталі будуть направлені на різні робочі станції в залежності від того, яка з них першою стала доступна.

Розглядаючи останні два типи планування треба розуміти, що первинна транспортна система потребує більш гнучкіших механізмів переміщення, тому в сходинковому та відкритому плануванні найчастіше використовуються автоматично керовані транспортні засоби (АКТЗ). Це рухливий робот, який виконує функції переміщення різноманітного вантажу (заготовок, пакувань тощо) та змінює своє положення за рахунок різних пристроїв навігації.

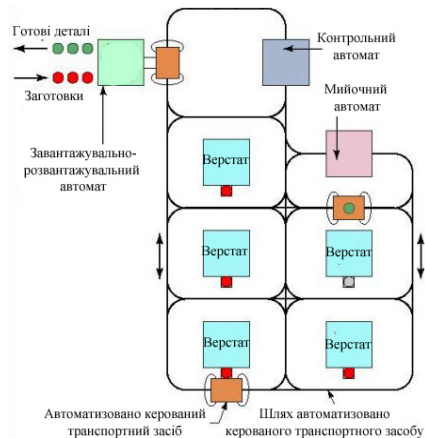


Рис. 4. Відкрите планування

Одна з найбільших проблем АКТЗ – точність позиціонування. Точність складається з точності системи навігації і точності механізму переміщення засобу. АКТЗ в ГВС можуть мати такі типи навігації:

1. Дротова навігація. АКТЗ визначає свою траєкторію за допомогою дроту, що вмонтований в підлогу. Дріт передає радіосигнал, а слідуючий сенсор, що вмонтований в АКТЗ, визначає відносне розташування радіосигналу

та коректує положення АКТЗ відносно дроту. Недоліки системи полягають у трудомісткості монтажу дроту та обмеженості маршрутів руху.

2. Стрічкова навігація. АКТЗ визначає свою траєкторію за допомогою стрічки, що може бути двох типів: магнітна чи кольорова. В АКТЗ вмонтований сенсор розпізнавання відповідної стрічки. Значною перевагою над дротовою навігацією є можливість зміни шляху за рахунок видалення або пересування стрічки. Але значною проблемою є замазування стрічки маслом та стружкою, що унеможливило розпізнавання кольорової стрічки сенсором.

3. Лазерна навігація. АКТЗ визначає свою траєкторію за допомогою світловідбиваючих стрічок на стінах, стовпах чи верстатах. В АКТЗ вмонтовано лазерний передавач та приймач, що являє собою сенсор. Кут та положення відбитого лазерного променя автоматично вираховується після надходження сигналу на приймач. Ці дані порівнюються з мапою розташування світловідбивних стрічок, що збережена в пам'яті, і визначає положення АКТЗ. Але усі сенсори повинні бути на одній висоті, а система може підвергатися перешкодам з боку світових джерел високої інтенсивності, наприклад зварювальних систем.

4. Інерційна (гіроскопічна) навігація. АКТЗ визначає свою траєкторію за допомогою гіроскопу та транспондерів - засобів для отримання радіосигналу та одночасного його трансляції. АКТЗ використовує транспондери щоб підтвердити правильність свого шляху. А гіроскоп, вмонтований в АКТЗ, здатний визначити найменші відхилення та коректує рух для додержання АКТЗ на визначеному шляху.

5. Штучний зір. АКТЗ визначає своє положення за допомогою відеокамер і системи розпізнавання образів на основі штучного інтелекту. Перевага таких систем полягає в тому, що вони можуть найбільше гнучко реагувати на позаштатні ситуації. Наприклад, у вигляді занадтка поставленого піддона з деталями. Однак складність математичного апарату обробки зображення поки не дають можливість виготовити промислові зразки.

Висновки. У такий спосіб найбільш точні транспортні системи на основі АКТЗ є системи з гібридною навігацією. Які засновують свої дії на сигналах від декількох різноманітних датчиків. Найбільш перспективними розробками в цій сфері є системи на основі датчиків візуальної навігації й гіроскопів.

Список використаних джерел:

1. Peter K. Flexible Manufacturing System / K. Peter, V. Karol. // International Scholarly and Scientific Research & Innovation. – 2011. – Vol:5, No:5 – С. 917–921.
2. Paul F. Product Lifecycle Management and Information Tracking using Smart Embedded Systems / Folan Paul. – Galway: National University of Ireland, 2011. – 570 с.
3. Viorica F. Flexible manufacturing systems [Електронний ресурс] / Viorica Frunza. – Lexington: University of Kentucky, 2000. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uky.edu/~dsianita/611/fms.html>
4. Automatic Guided Vehicles (AGVs) [Електронний ресурс] // Egemin Automation. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.egemin-automation.com/en/automation/material-handling-automation_ha-solutions/ags-systems.

УДК 621.767(075.8)

Крачков В.С., *наук. кер. Кореньков В.М., к.т.н., доц.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: yskrachkov@gmail.com,
volodymyr.korenkov@gmail.com**РОЗРОБКА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВЕРСТАТІВ З ЧІПК**

Сучасні процеси виробництва вимагають вирішення багатьох проблем, до яких можна віднести: проблему збільшення ефективності використання верстатного обладнання, організацію оперативного управління технологічною системою, реалізацію можливості швидкого реагування на незаплановані випадки (збій в системі чи вихід з ладу верстату, руйнування інструменту, і. т. п). В свою чергу, вирішення проблеми ефективності тісно пов'язане з плануванням та управлінням запасами виробництва. Для вирішення перерахованих вище задач велику роль відіграють статистичні дані за минулі періоди виробництва. Їх аналіз дозволяє виконувати прогнози та будувати календарні плани на майбутні етапи виробничого процесу. Однак збір статистичних даних є також проблемою, яка потребує уваги, а саме розробка та впровадження автоматизованих інструментів збору статистики та її оцінки.

Допомогти у вирішенні зазначених проблем можуть системи моніторингу стану верстату. Вони дозволять відслідковувати зміни в технологічній системі та фіксувати їх з подальшим зберіганням в базу даних. Подібні системи в США та Європі закріпили за собою термін MDC (Machine Data Collection, з англ. 'Збір даних з верстату').

MDC - автоматизоване програмне забезпечення для збору та обробки даних, які надходять з верстатів і представлення їх у зручному графічному та текстовому вигляді.

В умовах недостатнього фінансування, українські підприємства не можуть дозволити собі програмні продукти закордонного виробництва. Це змушує до пошуку шляхів вирішення проблеми наявними засобами, з метою зменшення вартості впровадження MDC-систем. Завдання здешевлення може бути вирішене за рахунок використання більш дешевого обладнання та залученням OpenSource продуктів у середовищі WEB.

З метою впорядкування та спрощення зусиль по збиранню даних з верстатів, поставлено завдання розробити автоматизоване програмне забезпечення, для використання на підприємствах з малосерійним та середньосерійним виробництвом. Програмний продукт повинен не тільки автоматично збирати величезну кількість інформації, характерну для процесів обробки, але й представляти цю інформацію у зручному для користувача вигляді, мати інтуїтивний інтерфейс для користувачів, які зможуть швидко аналізувати дані і вносити зміни до технологічної системи.

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

Мережа передачі даних між верстатами та сервером побудована за допомогою бездротової технології (Wi-Fi). На кожному верстаті змонтовано одноплатний комп'ютер, котрий за допомогою Wi-Fi передає інформацію на сервер, який її аналізує та зберігає у базі даних.

Логіка програмного продукту та його інтерфейс розроблятимуться за допомогою технологій WEB, що дасть змогу використати готові рішення для організації схеми бази даних (БД) та підтримки БД в подальшому, реалізувати доступ до програмного продукту за допомогою WEB-інтерфейсу через мережу Інтернет. Зазначене в свою чергу дозволить мати доступ до даних в будь-якому місці та з будь-якого пристрою, що має доступ до мережі Інтернет.

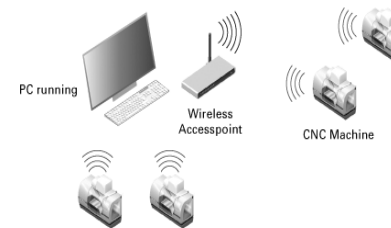


Рис. 1. Принцип побудови мережі між верстатами та БД

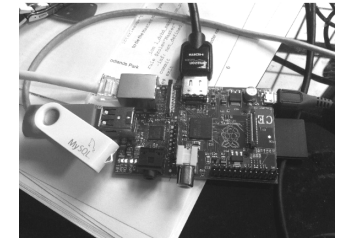


Рис. 2. Зображення блоку моніторингу на основі Raspberry Pi

Програмне забезпечення показуватиме, скільки часу всього циклу обробки машина насправді витрачає на різання та скільки часу витрачається на холості ходи та прискорені подачі. Крім того, ця інформація може допомогти виробникам оцінити рентабельність кожного виконаного завдання.

Спроектowana система моніторингу може працювати зі стійками фірми Fanuc/HAAS та використовувати всі можливості по отриманню інформації з верстату, які надають ці стійки.

Основною задачею системи в якості інструменту для вирішення технологічних завдань є збір, зберігання статистики та представлення програмного інтерфейсу і інтерфейсу користувача для доступу до бази даних з метою проведення її (статистичної інформації) досліджень.

Отримані статистичні дані та результати їх аналізу за допомогою програмного забезпечення системи моніторингу можна легко експортувати в електронні таблиці чи графіки для більшого сприйняття, формувати документи у форматі Word або PDF-файлів для оформлення звітності.

Список використаних джерел:

1. <http://www.mmsonline.com/articles/automating-machine-monitoring-and-data-collection>
2. Субін А. Кореньков В. Ткач І. Розрахунок параметрів серверної частини системи on-line моніторингу верстатів з ЧІПК // Матеріали XI Международной научно-практической конференции «Актуальные научные достижения – 2015» Publishing House «Education and Science» s.r.o. (Чехия, Прага). С-23-35.

УДК 621.9.015

Крупина Ю.М., Мельник Т.І., наук. кер. Сімута Р.Р., к.т.н.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: simutaroman@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ ІЗ ЇЇ 3D МОДЕЛІ

Однією із актуальних проблем, які стоять перед розробниками систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ (САП ЧПУ, CAM) та систем автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП, CAPP) є автоматизація процесів виявлення інформації про технічні умови на виготовлення виробу або Product Manufacturing Information (PMI) [1, 2].

Забезпечення якості виробу, зокрема шорсткості, виконується дотриманням режимів різання. У більшості сучасних САП ЧПК та САПР ТП введення таких даних покладено на користувача системи. Щонайбільше користувачеві пропонується імпортувати геометричну модель виробу, або використати існуючу геометрію, якщо ці системи є інтегрованими із конструкторською САПР.

У той же час, сучасні САПР виробів (3D CAD) дозволяють зберігати у 3D моделі виробу і технічні умови, такі як геометричні розміри із допусками, шорсткість, допуски відхилення від форми, положення тощо [1, 3-5]. І лише деякі інтегровані CAD-CAM системи частково використовують цю інформацію для створення, наприклад, програм числового програмного управління обладнанням [1, 3].

Рішенням проблеми доступу до PMI є використання програмного інтерфейсу додатку (Application Program Interface, API). Практично усі сучасні САПР виробів дозволяють створення сторонніми розробниками так званих плагінів (plugins) або доповнень (add-ins). Однією із таких систем є SolidEdge ST 8, яка розроблена компанією Siemens [6].

Використовуючи інструментарій розробника програмних додатків для SolidEdge (SolidEdge Software Development Kit, SDK) можна створити плагін, який матиме доступ до програмного інтерфейсу SolidEdge, а отже, до необхідної інформації.

Для доступу до програмного додатку використовується клас *SolidEdgeFramework.Application*, однією із властивостей якого є *ActiveDocument*. За допомогою цієї властивості можна отримати доступ до програмного інтерфейсу активного документа, наприклад, 3D моделі деталі який реалізований у класі *PartDocument*. Властивість *PMI* документа деталі надає доступ до програмного класу *SolidEdgeFrameworkSupport.PMI*, за допомогою якого і є можливим програмний аналіз усіх наявних у документі технічних умов активної 3D моделі деталі.

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

Для виявлення усіх можливих обмежень параметрів шорсткості, які накладені на поверхні деталі, використовується клас *SurfaceFinishSymbols*, доступний із властивості *PMI.SurfaceFinishSymbols*. Екземпляр цього класу містить колекцію об'єктів символів шорсткості *SurfaceFinishSymbol*. Повний перелік властивостей класу *SurfaceFinishSymbol* можна знайти у документації до програмного інтерфейсу SolidEdge [6].

Розглянутий програмний інтерфейс 3D CAD системи SolidEdge був використаний для створення плагіну (рис. 1-3), за допомогою якого можна визначити усі введені конструктором параметри шорсткості для поверхонь 3D моделі деталі.

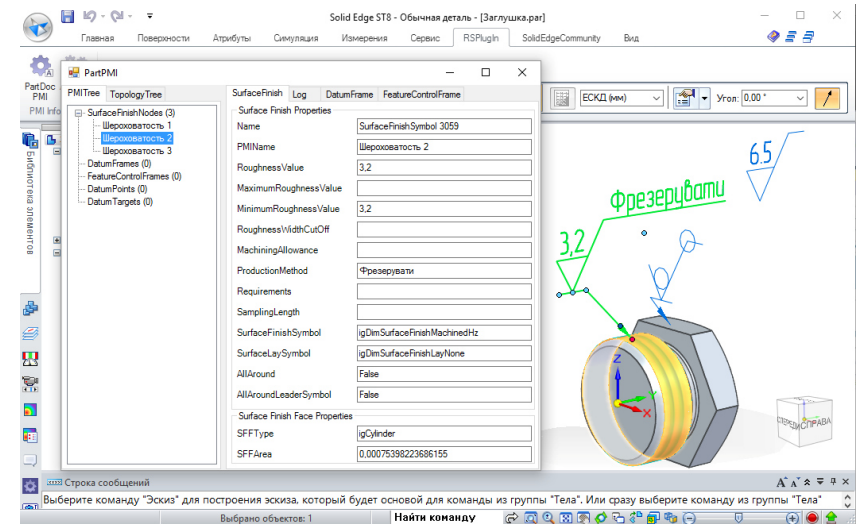


Рис. 1. Параметри шорсткості поверхні із вказаним методом обробки

3D CAD система SolidEdge має свій формат відображення позначення шорсткості поверхні, який є певною комбінацією позначень, наведених у найпоширеніших стандартах, таких як наприклад ISO, ASME чи ДСТУ (ГОСТ). Позначення шорсткості SolidEdge можуть містити навіть більше корисної інформації, ніж це потрібно за вимогами певного стандарту. До основних параметрів позначення шорсткості у системі SolidEdge відносяться: основний символ шорсткості; знак замкнутої лінії; тип нерівності поверхні, який задає напрям нерівностей; значення шорсткості із можливістю задання нижньої і верхньої межі; допуск на обробку; спосіб виготовлення; межі ширини нерівностей; кількість трикутників (для стандарту JIT); положення знаку замкнутої лінії (на виносці чи на символі).

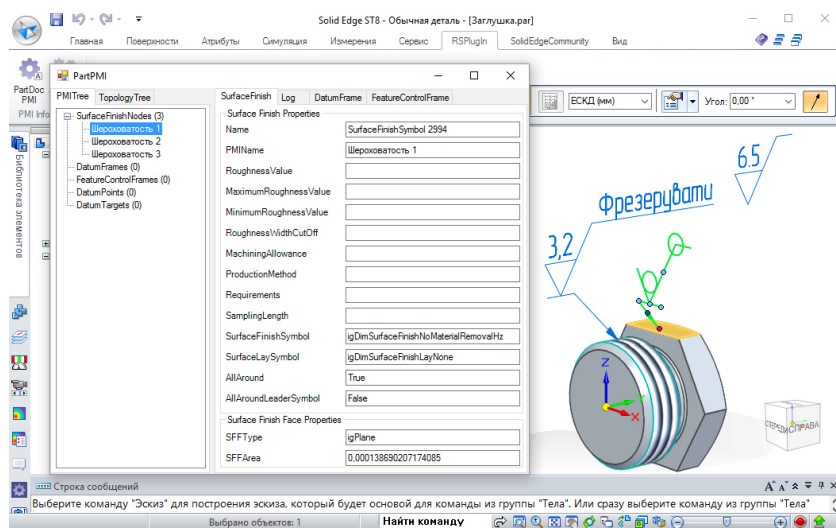


Рис. 2. Параметри шорсткості для групи суміжних поверхонь

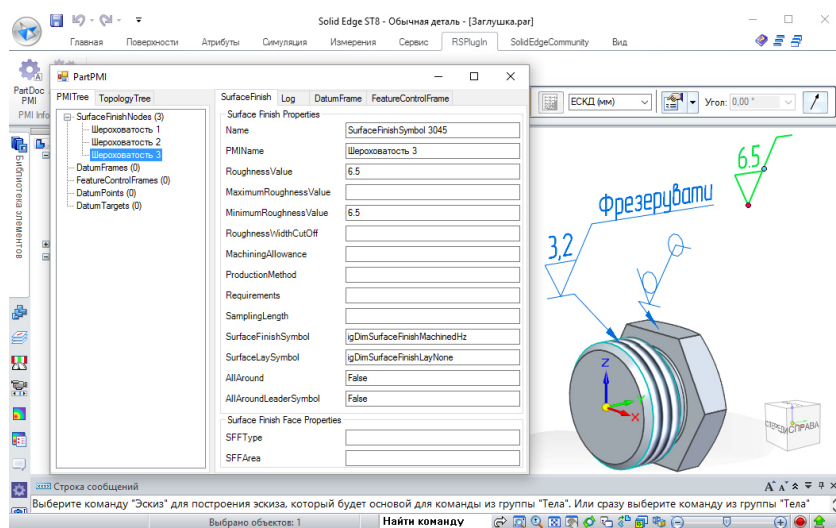


Рис. 3. Параметри шорсткості для невказаних поверхонь

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

Кожне наявне у документі SolidEdge позначення шорсткості може бути як пов'язане із певною поверхнею (рис. 1, 2), так і не пов'язане, якщо, наприклад, потрібно визначити невказані параметри шорсткості для групи поверхонь (рис.3). У випадку якщо символ шорсткості пов'язаний із певною поверхнею деталі, додатково можливо визначити тип поверхні (циліндр, площина тощо) та її геометричні розміри. Таким чином можливо зв'язати різні групи PMI символів, які вказують на одну і ту ж поверхню 3D моделі виробу.

Під час проектування виробу конструктор може вказати для певної поверхні крім безпосереднього значення шорсткості і необхідний метод обробки для досягнення цього значення (рис. 1). Цей метод обробки можна визначити із властивості *ProductionMethod*, у якій вказується метод обробки, і властивості *SurfaceFinishSymbol*, яка відповідає за графічне відображення символу і отримає значення константи *igDimSurfaceFinishMachined*. Якщо, наприклад, обробка не потрібна для певної замкнутої групи поверхонь (рис. 2), то отримаємо наступну комбінацію властивостей: *AllAroundLeaderSymbol* = *True*, *SurfaceFinishSymbol* = *igDimSurfaceFinishNoMaterialRemoval*, *AllAround* = *True*. Якщо є група не пов'язаних поверхонь із однаковими параметрами шорсткості, то необхідно поставити символ шорсткості, не зв'язуючи його виносну лінію із жодною із поверхонь моделі.

Таким чином, аналізуючи властивості множини PMI об'єктів можна визначити усі параметри шорсткості для усіх поверхонь деталі із її 3D моделі. Крім шорсткості, також можливо визначити і інші внесені до документу 3D моделі технічні умови, такі як, наприклад, допустимі відхилення від положення, форми, геометричних розмірів тощо. У подальшому планується вдосконалення розробленого програмного забезпечення для визначення усіх PMI даних, внесених до 3D моделі як деталі, так і складальних виробів.

Список використаних джерел:

1. Luniewski T.: Using Open CAD Formats to Bridge the Gap Between Today's and Tomorrow's Standards. In: Proceedings Model-Based Enterprise Summit, National Institute of Standards & Technology, Gaithersburg, MD, December 11 - 13, 2012.
2. Andre, P., Sorito, R.: Product Manufacturing Information (PMI) in 3D models: a basis for collaborative engineering in Product Creation Process (PCP). In: Proceedings 14th European Simulation Symposium, SCS Europe BVBA (2002)
3. Демченко Є.О. Модуль Product and Manufacturing Information системи Siemens NX / Є. О. Демченко, Р. Р. Сімута // Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених і студентів присвячена дню Науки, Київ, 14 травня 2014 р. : тези доп. / НТУУ «КПІ». – К., 2014. – Секція «Машинобудування», підсекція «Технологія машинобудування» – С. 76 – 77.
4. Мельник Т.І. Модуль SolidWorks MBD, як сучасний засіб комунікації між конструкторами та технологами / Т. І. Мельник, Р. Р. Сімута // Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених і студентів присвячена дню Науки, Київ, 13 травня 2015 р. : тези доп. / НТУУ «КПІ». – К., 2015. – Секція «Машинобудування», підсекція «Технологія машинобудування» – С. 125 – 126.
5. Solid Edge OEM supply chain collaboration. White Paper. Siemens PLM Software. © 2012.
6. Solid Edge ST8 SDK. Siemens PLM Software. © 2015

УДК 62-50:658.564:621.923:924

Мацківський О.С., *наук., кер. Петраков Ю.В. д.т.н., проф.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: yp-86@yandex.ru**АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ОБРОБЛЕННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ**

Оброблення фрезеруванням деталей машин завжди характеризується квазістаціонарністю, яка визначається зміною швидкості зрізування припуску MRR (від англ. Material Removal Rate – швидкість видалення матеріалу). Найбільш суттєво нерівномірність об'єму матеріалу, що зрізується, притаманна процесам оброблення складних поверхонь, а також деталей з неоднорідною або не якісною структурою матеріалу. Таким чином, процес різання при обробленні більшості деталей вимагає перманентного управління для компенсації дії збурюючих впливів на ТОС.

Два основних принципи управління, що використовуються для стабілізації процесу різання: за збуренням і за помилкою. Управління за збуренням передбачає проектування управління, наприклад, за подачею, з використанням апріорної інформації під час технологічної підготовки виробництва за допомогою САМ систем. Результат такого управління цілком залежить від точності апріорної інформації про процес і адекватності математичної моделі ТОС. В той же час доведено, що управління за помилкою через замкнені системи автоматичного управління (САУ) не потребує такої інформації і автоматично компенсує всі збурюючі впливи, які діють на елементи ТОС, охоплені зворотним зв'язком [1]. Такі перші САУ процесом різання були розроблені ще у 80-х роках ХХ століття школою професора Балакшина Б.С. [2]. Проте тодішній технічний розвиток не дозволив реалізувати задуману систему на високому рівні з достатньою надійністю.

На сьогоднішній день верстати з ЧПУ є складними і високо технологічними машинами, оскільки в своєму складі вже містять велику кількість допоміжних систем контролю і управління. З таких систем можна виділити наявність безступінчастого регулювання приводами, різноманітні датчики на осях приводів (реальне положення, реальна частота обертання, навантаження на вісь) тощо. Таким чином, ідеї, що були закладені раніше, отримали матеріальну базу для їх втілення на сучасному рівні і деякі компанії скористалися такою нагодою. Так, фірма Omative System (США) пропонує замкнені САУ, в які входять спеціально розроблені САМ-модулі для управління різними видами оброблення на верстатах з ЧПК: точінням, фрезеруванням, свердлінням, шліфуванням тощо [3].

В загальному випадку структура системи адаптивного управління (САУ) показана на рис. 1. САУ працює в замкненому циклі і автоматично забезпечує стабілізацію певних параметрів, що характеризують процес оброблення. Таким параметром в більшості випадків виступає потужність різання P_ϕ , яке за

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

допомогою модулю зворотного зв'язку [4] зчитується з датчика шпинделя верстату і порівнюється зі значенням потужності, яке задане для стабілізації P_s . На основі різниці (помилки) між заданим і фактичним значеннями потужності $\delta P = P_s - P_\phi$ формується сигнал управління, який корегує величину подачі різання для досягнення заданого значення потужності і повторюється знову.

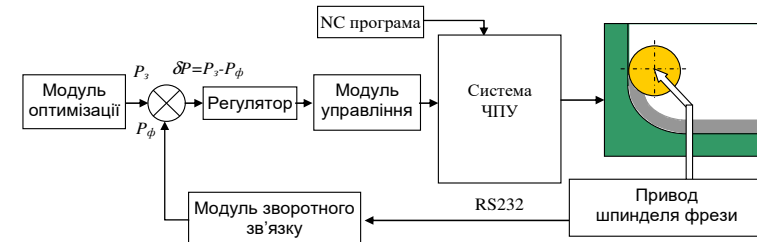


Рис. 1. Структура системи адаптивного управління

Відомо [5], що якість управління визначається за наступними трьома групами критеріїв: сталість, точність в різних режимах роботи, швидкодія. Сталість САУ є безумовною вимогою до будь-яких систем, точність визначається за похибкою, в даному випадку – за похибкою стабілізації, а швидкодія визначається за часом перехідного процесу. В системах управління верстатами з ЧПК застосовують різні закони управління і відповідні регулятори, що їх здійснюють. Якість будь-якої системи управління оцінюється за точністю досягнення заданої мети та швидкодією реакції на управління і збурення. Доведено, що найкращі показники якості мають системи з пропорційно-інтегрально-диференціальним законом управління, так звані ПІД-регулятори [6]. Вигляд ПІД-регулятора показано на рис. 2.

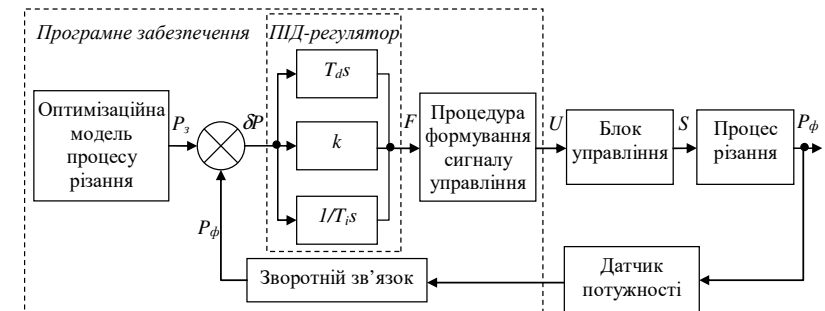


Рис. 2. Повна структура САУ

У відповідності до показаної структури, регулювання здійснюється за законом:

$$F = \delta P(k + T_d s + 1/T_i s), \quad (2)$$

де k – коефіцієнт передачі, T_d – постійна часу диференціювання, T_i – постійна часу інтегрування, s – оператор Лапласа.

Введення регулювання за інтегральним законом підвищує точність регулювання завдяки збільшенню порядку астатизму системи, усуває помилку від швидкості зміни сигналу управління, проте зменшує швидкодію. Тому вводиться ще й регулювання за диференціальним законом, яке підвищує швидкодію і створює резерв для підвищення коефіцієнта передачі, що, в свою чергу, зменшує похибку системи [5, 6].

Висновки

Було показано що використання САУ на сучасному апаратному рівні дозволяє якісно змінити процес оброблення, стабілізувати його холовну характеристику, а що саме головне – оптимізувати умови роботи інструменту при видаленні матеріалу і тим самим забезпечити рівномірне зношування інструменту. В результаті підвищується продуктивність, забезпечується прогнозований період стійкості інструменту який буде постійним від деталі до деталі.

Також за допомогою САУ можна досягти максимальної швидкості видалення матеріалу за рахунок оптимізації параметрів різання на основі величини потужності оброблення.

Список використаних джерел

1. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Теория автоматического управления технологическими системами / М.: Машиностроение, 2008. – 336с.
2. Балакшин Б.С. и др. Адаптивное управление станками, М.: Машиностроение, 1973, 688с.
3. Системы адаптивного регулирования и мониторинга для металлообрабатывающих станков с CNC / <http://www.omative.com/173890/ACM>.
4. Петраков Ю.В., Кореньков В.М., Мацківський О.С. Ідентифікація процесу різання на верстаті з ЧПК / 36. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем, №32, Краматорськ, 2013. с.312-316.
5. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. – УкрНДІАТ, Київ, 2004.-383с.
6. Suk-Hwan Suh, Seon-Kyoon Kang, Dae-Hyuk Chung, Ian Stroud Theory and Desing of CNC Systems / Springtr, London, 2008, 455p.

УДК 621.923.12

Мельник-Кагляк Н.О.¹, наук. кер. Сохань С.В.², д.т.н.

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ, e-mail:

n.o.melnyk@gmail.com

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: sokhan@ism.kiev.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ УМОВ КОНТАКТУ ІНСТРУМЕНТА І ОБРОБЛЮВАНОЇ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ОБОЛОНКИ ГОЛОВКИ КУЛЬШОВОГО ЕНДОПРОТЕЗА ЛЮДИНИ

На думку дослідників сучасність зіштовхнулася з потребою у розробці компонентів пар тертя для застосування в ендопротезуванні, які могли б витримати більш високі навантаження [1]. Зниження віку пацієнтів, що потребують операції по заміні кульшового суглобу, тягне за собою підвищення навантажень на головку ендопротезу кульшового суглобу (у зв'язку з їх підвищеною рухливістю) і, як наслідок, підвищення вимог до функціональних властивостей ендопротезу. Задовольнити згадані вимоги дозволить використання головок багатошарової конструкції [2], що складаються зі зносостійкої тонкостінної ($\delta \geq 3$ мм) оболонки з сапфіру або кераміки ззовні й серцевини з металу (рис. 1). Спосіб виготовлення тонкостінної оболонки з сапфіру чи кераміки [3] передбачає процес шліфування кінцевим алмазним інструментом.

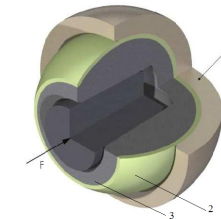


Рис. 1. 3D модель пари тертя головка-чаша ендопротезу суглобу:
1 – чаша; 2 – зносостійка тонкостінна оболонка; 3 – металева серцевина.

Оскільки і оксидна кераміка, і сапфір відносяться до важкооброблюваних матеріалів, процес виготовлення тонкостінної оболонки з них шліфуванням вимагає застосування інструменту з надтвердих матеріалів. Фізико-механічні властивості таких матеріалів (табл. 1) вимагають використання алмазного інструмента, зношування якого буде позначатися на точності оброблення. Враховуючи особливості геометричної форми оброблюваної поверхні (рис. 2) процес оброблення потребує складних формотворних рухів, і через ускладнену

досяжність окремих оброблюваних ділянок потребує накладання додаткових обмежень у виборі інструменту.

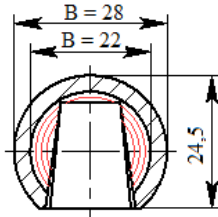


Рис. 2. Тонкостінна сферична оболонка

Варто зауважити, що оброблення відбувається в умовах значного змінювання величини припуску. Якщо керамічна заготовка теоретично може бути виконана з попередньо сформованим отвором у вигляді внутрішньої сферичної поверхні, то технологія виготовлення такої поверхні в заготовці із сапфіру, передбачає спочатку операцію попереднього утворення алмазним свердлом циліндричного чи конічного отворів і наступну операцію формотворення, власне, внутрішньої поверхні тим же інструментом.

Таблиця 1. Деякі фізико-механічні властивості сапфіру та кераміки на основі нанопорошку ZrO_2

Показник	Сапфір	ZrO_2 -кераміка*
Міцність при згині, МПа	>400	850
Критична інтенсивність тріщиноутворення K_{IC} , МПа·м ^{-1/2}	3,5	8–11
Модуль Юнга, ГПа	400	209
Густина, г/см ³	3,99	6,05
Мікротвердість, ГПа	19,4–22	10–12

* – кераміка хімічного складу ($ZrO_2(+HfO_2)$) – основний компонент, Y_2O_3 – 5,3%, Al_2O_3 – <0,05%, Fe_2O_3 – <0,01%, SiO_2 – <0,02%, вміст тетрагональної фази 96%, моноклінної 4%.

У якості шліфувального інструменту для формотворення внутрішньої поверхні деталі застосовуватиметься алмазний трубчастий інструмент (свердло), в якому алмазонасна частина кільцевої форми на металевій зв'язці припаяна до металевої трубчастій державки. Ускладнений доступ до оброблюваної поверхні потребує складних формотворних рухів інструмента, що накладає певні обмеження на діаметр інструмента (рис. 3).

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Для подальших досліджень було виділено типовий ряд найуживаніших розмірів головок протезів з їхніми геометричними параметрами (рис. 4), а саме: Ø28мм, Ø 32мм, Ø 36мм, та Ø 40мм.

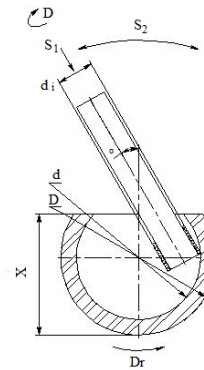


Рис. 3. Кінематична схема оброблення

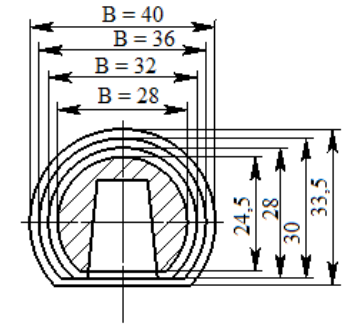


Рис. 4. Типорозміри головок кульшових ендпротезів

Для визначення допустимих діаметрів інструменту, якими можливо обробити внутрішню сферичну поверхню без зіткнень державки з заготовкою, було проведено моделювання за наведеною на рис.3 кінематичною схемою. В ході моделювання було виявлено присутність «сірої» зони, яка за рахунок своєї кривизни не дозволяє повністю себе обробити. Дана зона знаходиться в околі вихідного отвору оболонки і не перевищує 3мм. За результатами моделювання напружено-деформованого стану конструкції головки ендпротезу, буде прийняте рішення, щодо подальших дій пов'язаних з сірою зоною.

Проведене моделювання дозволило встановити номенклатуру діаметрів кінцевого інструменту, які гарантовано дозволяють обробити внутрішню сферичну поверхню. Наприклад, головку Ø 36мм з товщиною стінки 3мм, 4мм і 5мм ми можемо обробити алмазним інструментом з Ø 9мм, а головку Ø 40мм з товщиною стінки 3мм – інструментом діаметрами Ø 10мм, Ø 12мм, Ø 14мм.

Список використаних джерел:

1. Lieberman J R, Two Alternative Bearings for Total Hip Arthroplasty: More Data Are Needed. J Am Acad Orthop Surg 2009;17:61-62
2. Пат. 105063 Україна, МПК А61F2/32(2006.1) Головка ендпротеза кульшового суглоба./ С.В.Сохань, Л.Ф. Головка, Н.О. Мельник-Кагляк. – № u201503078 ; заявл. 03.04.2015 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
3. Пат. 105064 Україна, МПК А61F2/32(2006.1) Спосіб виготовлення головки ендпротеза кульшового суглоба./ С.В.Сохань, Л.Ф. Головка, Н.О. Мельник-Кагляк. – № u201503078 ; заявл. 03.04.2015 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.

УДК 621.923.12

Мельник-Кагляк Н.О.¹, *наук. кер. Сохань С.В.², д.т.н.*¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ, e-mail:n.o.melnyk@gmail.com²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: sokhan@ism.kiev.ua**ОБГРУНТУВАННЯ УМОВ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ШЛІФУВАННЯ
ВНУТРІШНЬОЇ СФЕРИЧНОЇ ПОВЕРХНІ ОБОЛОНКИ ГОЛОВКИ
КУЛЬШОВОГО ПРОТЕЗУ ЛЮДИНИ**

Запропонована авторами конструкція головки ендопротезу кульшового суглобу людини передбачає наявність не менше двох шарів – зносостійкої оболонки з сапфіру або кераміки ззовні й серцевини з металу, що дозволяє тим самим реалізувати модульний принцип приєднання головки до ендопротезу на базі конусного посадкового з'єднання метал-метал [1].

Концепція підходу до процесу формотворення внутрішньої сферичної поверхні у сапфіровій або керамічній заготовці алмазним шліфуванням полягає, на наш погляд, у стабілізації об'єму зрізуваного припуску за одиницю часу, за рахунок керування подачею.

Зараз існує два метода для планування керування подачею: один базується на MRR (Material Removal Rate), інший базований на силі різання.

Lan [2] запропонував математичну модель і критерії прийняття рішень з метою досягнення оптимального управління MRR. Yazar [3] виконує оптимізацію подачі, базуючись на обрахунку сили різання в 3-осьовому фрезеруванні штампів та прес-форм. Baek та інші [4] сфокусувалися на пошуку оптимальної подачі для торцевого фрезерування з метою максимізації MRR з обмеженням поверхневої шорсткості. Liu [5] довів до уваги людства теоретичну динамічну модель сили різання для фрезерування кінцевими фрезами. Taunsi [6] інтегрував динаміку приводу подачі з плануванням траєкторії (за мінімальний час) для того, щоб досягти бажаної подачі у відповідному положенні. Li [7] вивчав питання оптимізації швидкості подачі для варіанту процесу фрезерування, спираючись на розрахунки сили різання.

Вищезгадані наукові праці, а також [8] розроблені для швидкісного оброблення металів фрезеруванням, описують ідею, яка являється основоположною для розробки підходу керування подачею під час процесу шліфування надтвердих матеріалів абразивним інструментом. Цей процес має свої особливості та свою систему обмежень, пов'язану із обробленням крихкого матеріалу і зношуванням інструменту.

Огляд літературних джерел показав, що існують численні спроби задіяти методи моделювання і симулювання процесів шліфування для отримання вичерпного уявлення про можливі шляхи керування процесом оброблення. Згідно з Heinzl [9] кількість публікацій, що відносяться до моделювання і

симулювання процесу шліфування значно зросла з 1970 по 2004. За допомогою методів кінцевих елементів, молекулярно-динамічних моделей одиничного зерна, моделі процесу проектування на основі штучних нейронних мереж, аналітичних моделей, а також моделей регресії можна описати ефекти теплового, хімічного, динамічного і механічного процесів. Особливо великий потенціал для покращення розуміння процесу шліфування мають кінематично-геометричні моделі мають, через їх спрощений розгляд основних закономірностей процесу.

Для процесу шліфування алмазним інструментом внутрішньої сферичної поверхні наведемо наведені нижче обмеження. У крихких неметалевих матеріалів, таких як технічна кераміка, навіть м'які режими оброблення при шліфуванні призводять до утворення мікротріщин на поверхні, що оброблюється, що знижує міцність даних матеріалів. Після механічного оброблення матеріал деталі послаблений дефектами двох видів: структурними, що обумовлені технологією виготовлення заготовки (не враховуються у нашій системі), і оброблюваними, викликані дією (силовою та тепловою) ріжучого інструмента при механічному обробленні. Тому, одним з основних критеріїв контролю якості отриманої поверхні буде величина тріщинуватого шару.

Для одержання високої якості на всій обробленій поверхні, необхідно забезпечити постійність об'єму зрізуваного шару на кожному кроці. Цього можна досягти за рахунок керування подачею, яка в свою чергу корелює з величиною сили різання, при фіксованій величині MRR.

Отже, постановка задачі виглядає наступним чином. Отримати функцію змінювання величини подачі по траєкторії руху для забезпечення максимально допустимого об'єму зрізуваного матеріалу за одиницю часу, задовольняючи умови точності. Система обмежень складається з обмеження допуском на виконуваний розмір Td (відхилення має бути меншим або рівним допуску, даний показник залежатиме від величини зносу інструмента), обмеження сили різання (обмеження обумовлене величиною тріщинуватого шару), а також умовою невід'ємності відповідних складових.

Разом з тим, в наведеній методиці розрахунку, не враховуються наступні фактори: коливання системи, термічна складова процесу різання, можливі термохімічні удари, дія залишкових напружень в оброблюваному матеріалі та їх розміщення.

Під час оброблення внутрішньої сферичної поверхні у різального інструменту на окремих ділянках траєкторії задіяна лише торцева частина, тоді як на інших в інструменті працює як торцева так і периферійна частини. Дані складні взаємодії (рис. 1) враховуватимуться за результатами експериментального дослідження. Для спрощення розрахунку, планується встановлення таких залежностей: сила різання від кута нахилу різального інструменту α , при шліфуванні плоского зразка кераміки та сапфіру (рис. 2), та сила різання від подачі (при визначених кутах нахилу інструмента α).

Реалізація розробленої стратегії обробки дозволить, за рахунок керування подачею, забезпечити стабільність величини зрізаного шару, і, як наслідок, не перевищити допустиму товщину тріщинуватого шару внутрішньої сферичної поверхні цирконієвої кераміки та сапфіру, під час алмазного шліфування.

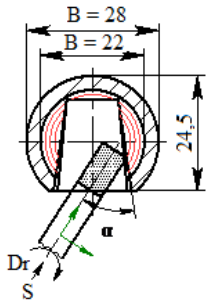


Рис. 1. Врахування кута нахилу інструмента протягом процесу оброблення

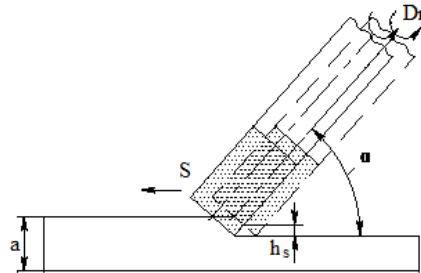


Рис. 2. Пропонована схема обробки для встановлення залежностей сили різання від кута нахилу інструмента та подачі

Список використаних джерел:

1. Пат. 105064 Україна, МПК А61F2/32(2006.1) Спосіб виготовлення головки ендопротеза кульшового суглобу./ С.В.Сохань, Л.Ф. Головка, Н.О. Мельник-Кагляк. – № u201503078 ; заявл. 03.04.2015 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
2. Lan, T.S, Hsu, K.S, "The implementation of optimum MRR on digital PC-based lathe system.," Int J Adv Manufact Technol, no. 35(3–4), p. 248–254, 2007.
3. Yazar, Z, Koch, K. F, Altan, T. , "Feedrate optimization based on cutting force calculations in 3-axis milling of dies and molds with sculptured surfaces.," Int J Mach Tool Manufact, no. 34(3), p. 365–377, 1994.
4. Baek, D. K, Ko, T. J, Kim, H. S., "Chip volume prediction using a numerical control verification model.," Int J Mach Tool Manufact, no. 46(12–13), p. 1326–1335.
5. Liu, X. W, Cheng, K. , " Improved dynamic cutting force model in ball-end milling. Part I: theoretical modeling and experimental calibration.," Int J Adv Manufact Technol, no. 26(5), p. 457–465, 2005.
6. Taunsi, N, Elbestawi ,M. A., « Optimized feed scheduling in three axes machining. Part I: fundamentals of the optimized feed scheduling strategy.», Int J Mach Tool Manufact, № 43, p. 253–267, 2003.
7. Li, Z. Z, Zhang, Z.H, Zheng, L. (без дати). Feedrate optimization for variant milling process based on cutting force prediction. Int J Adv Manufact Technol(24(7–8)), сс. 541–552.
8. Мельник Н. О., Кореньков В. М., Пуховський Є. С., Вирішення питання керування подачею в процесі фрезерування, Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип. №34, 2014
9. Heizel, C. Understanding of Grinding Processes: Status in Modeling and Simulation as well as Assisting Experimental Methods. Universitat Bremen : professorial dissertation, 2009.

УДК 621.75

Міщенко П.О., наук. кер. Задерей О.М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: zaderei2008@rambler.ru

ВИБІР ВАРІАНТУ БАЗУВАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ СТАНИН ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

В умовах автоматизованого виробництва зростають вимоги до точності обладнання й, зокрема, до точності обробки деталей окремих вузлів. Технолог, так само як і проектувальник, відповідає за створення якісної машини, що можливо здійснити лише їхніми спільними зусиллями. Майбутня якість машини і трудомісткість складання залежить від того, чи вдало обрано метод досягнення точності і як його відображено у технології виробництва. Ефективне використання електродвигуна як однієї з основних складових автоматизованих промислових електроприводів можливе лише при виконанні певних вимог як до проектування, так і до сучасних технологій його виробництва та раціональної експлуатації. Неякісний електродвигун призведе до зниження показників працездатності та надійності обладнання, у якому його встановлено.

Одним з важливих елементів електродвигунів є станина. Основні параметри станин, які впливають на якість двигуна, – це

- розміри і форма отвору під осердя статора;
- відхилення висоти осі розточки відносно опорної площини лап;
- зміщення осі розточки відносно осей отворів в лапах.

Аналіз розмірних зв'язків поверхонь станини визначає два варіанти послідовності обробки на перших операціях.

Перший (базовий) варіант передбачає обробку опорної площини лап та установочних отворів, які в подальшому використовуються в якості чистових технологічних баз для розточки під осердя, замків та різних отворів.

Метод є помірно поширеним, характеризується простою конструкцією пристосувань-супутників, які містять плиту й два установочні штирі та застосовуються для встановлення деталі не тільки для обробки, а й для транспортування.

Однак цей метод обробки не враховує малу радіальну жорсткість деталі. Навіть при незначному відхиленні від площинності опорної поверхні лап станина деформується, що зумовлює некруглість внутрішньої поверхні станини при розточуванні. Відхилення від площинності, яке в середньому досягає 0,16мм [1], можна зменшити лише додатковими переходами чистової обробки з перезакріпленням деталі. Низька жорсткість станини при закріпленні за лапи зумовлює виникнення вібрацій, яке супроводжується погіршенням якості обробки. Відомо використання верхнього притискання станини (рис. 1) незначним зусиллям до 120-150 Н, яке відіграє роль віброгасника, але така

конструкція призводить до деформації внутрішньої поверхні отвору у корпусі до 0,03 мм та до овальності отвору [1].

Другий варіант послідовності обробки передбачає обробку в якості першої технологічної бази виточки, що співвісна до центрального отвору з закріпленням станини за торець, який є протилежним базовому. Конструктивна реалізація закріплення деталі різна в разі чорнової або чистої обробки.

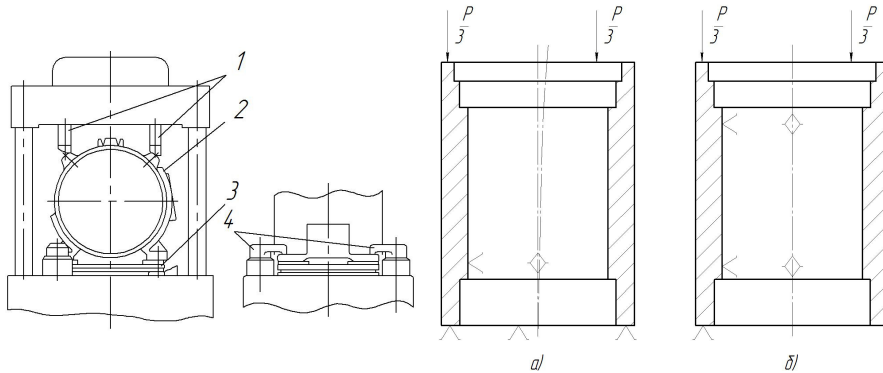


Рис. 1. Схема закріплення станини двигуна типу АО2-7 на автоматичній лінії мод. 1Л110. Позначено: 1 – верхні притискачі; 2 – оброблювана станина; 3 – супутник; 4 – гідропритискачі.

Рис. 2. Схема базування станини на першій операції. Позначено: а) – центрування в одному (нижньому) поясі; б) – центрування в двох поясах

На точність обробки базових поверхонь станини впливає також метод базування та закріплення на першій операції, які здійснюються за необробленими поверхнями (рис. 2).

Якщо базувати по одному пояску і торцю, то отвір виявиться неперпендикулярним до базової опорної поверхні і оброблений замок матиме різностінність. Якщо ж базувати по двох поясах, то не можна притискати деталь до торця пристрою, так як буде деформована оправка (7 ступенів вільності). Тому використовують плаваючу торцеву оправку. Більш надійними виявляються підведені опори: одна постійна, решту блокують.

Наведене порівняння різних підходів до розробки технологічного процесу обробки станини двигуна підтверджує необхідність ретельного аналізу як конструктивних особливостей деталі, так і майбутніх умов її експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Мощицкий В.В., Черпаков В.И., Гагашкин Г.И. Технология механической обработки в массовом производстве электродвигателей. – М.: Энергия, 1981. – 243с.

УДК 621.923.

Мухін Р.А., наук. кер. Малафеев Ю.М. к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: m.y.malaf@gmail.com

ПРАВКА ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ АЛМАЗНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Процес шліфування пов'язаний із зносом круга, коли зерна абразиву під дією сил різання і тертя руйнуються (обламуються, стираються, загладжуються) і можуть вириватися з зв'язки. Такий знос призводить до порушення геометрії круга, засалювання і, як наслідок, збільшення ймовірності появи прибоїв, зниження точності, якості оброблюваної поверхні деталі і продуктивності.

Характер зносу шліфувального круга і його інтенсивність залежать від марки матеріалу деталі що оброблюється і характеристик самого круга. При зносі круга може відбуватися тільки викришування зерен. Тоді в роботу включаються нові зерна, тобто відбувається так зване самозагострювання круга. Таким позитивним явищем володіють м'які круги. Процеси затуплення, згладжування ріжучих кромek зерен і засалювання характерно для кругів з високою твердістю. Для цього спеціальними правлячими інструментами з поверхні круга знімають зношений шар засаленого абразивного матеріалу і зв'язки.

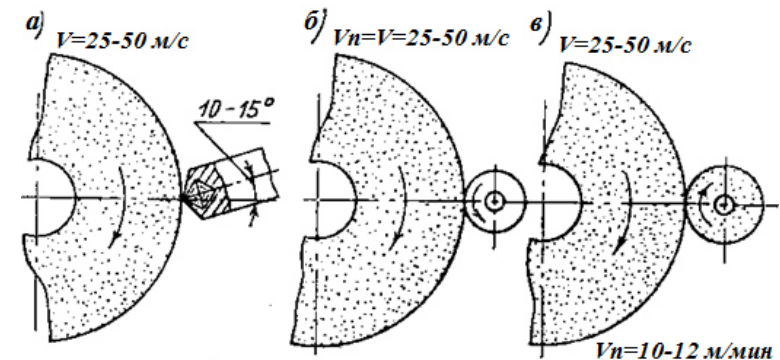


Рис. 1. Способи виправлення шліфувальних кругів: а - обточуванням, б - обкочуванням, в - шліфуванням

Застосовують наступні найбільш часто використовувані методи правки шліфувального круга: обточуванням, обкочуванням, шліфуванням (рис. 1), а також точінням з тангенціальною подачею, накочуванням і вільним абразивом [1, 2].

1. Виправлення методом обточування - це процес руйнування абразивного матеріалу і зв'язки круга правлячим інструментом високої твердості, який працює за схемою звичайного різця при точінні, який зрізає шар матеріалу з заготовки що обертається. Це можуть бути алмазні олівці, голки, алмази в оправі, що закріплені за допомогою механічного затискача, пайки або карбування (рис. 2).

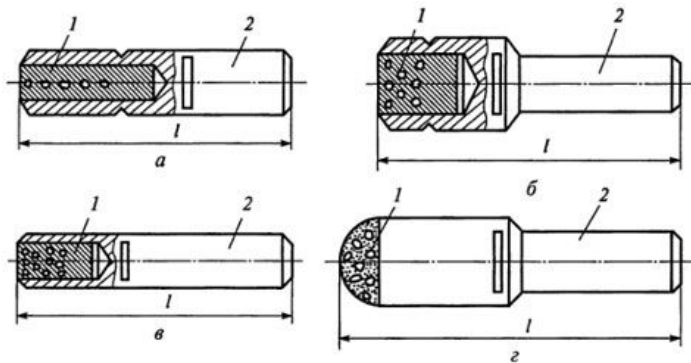


Рис. 2. Алмазно-металеві олівці:

а - тип Ц; б - тип С з непересічними шарами алмазів; в - тип С з пересічними шарами алмазів; г - тип Н з неорієнтованими алмазами; 1 - алмазна вставка; 2 - оправка; l - довжина олівця

Правлячі інструменти мають різну конструкцію. Одні з них являють собою стрижень, в вершину якого вставлений один відносно великий алмаз. Ці інструменти називаються алмазними голками, алмазами в оправі. Інші інструменти мають розширену робочу поверхню, на якій в певному порядку або хаотично закріплено певну кількість алмазів. Таку конструкцію мають алмазні олівці для правки кругів, гребінки, шарошки. Глибина алмазного шару може досягати значних величин. Чим вона більше, тим тривалішим термін служби інструменту. При зношуванні верхніх алмазів в роботу вступають нижні шари.

Алмазні і ельборові різці вставляються в оправки, що забезпечують потрібну подачу і траєкторію руху ріжучої частини інструменту. Розташування різця під кутом до оброблюваної поверхні дозволяє змінювати ріжучу кромку інструменту, повертаючи його навколо своєї осі, щоб в роботу вступали нові, не затуплені грані.

Виправлення обточуванням алмазними і ельборовими інструментами дозволяє забезпечити високу точність геометрії круга. Її відносним недоліком є згладжування оброблюваної поверхні, яке може бути небажаним, якщо

планується проведення обдирних робіт. В цьому випадку краще застосувати правку обкочуванням.

2. Виправлення методом обкочування абразивних кругів проводиться при обкочуванні інструментом круглої форми, які отримують своє обертання від шліфувального круга. При цьому відбувається дроблення, сколювання і видалення абразивних зерен з поверхні круга. З цією метою використовують карбідокремнієві круги, сталеві диски з цементованої і загартованої поверхнею, твердосплавні ролики, зірочки-шарошки.

Переваги методу - висока продуктивність і відсутність загладжування поверхні круга, як це відбувається в разі правлення обточуванням алмазними або ельборовими інструментами.

Недолік методу - велике пилоутворення і низька точність обробки через шарошки що обертаються. Якщо круг готується для обдирних робіт, правка обертвою шарошкою - найкращий варіант. Цей спосіб можна також застосовувати в якості попередньої операції перед правкою алмазним або ельборовим інструментом.

3. Виправлення методом шліфування також проводиться обертвим інструментом, який отримує це обертання від свого власного приводу, а не від шліфувального круга.



Рис. 2. Алмазний правлячий ролик

Для цього використовують алмазні ролики, карбідокремнієві, алмазні і ельборові круги, диски з твердих сплавів карбід вольфраму. При правці ось їх обертання може бути як перпендикулярна, так і паралельна осі обертання диска що обробляється. Напрямок обертання правлячих кругів або роликів в останньому випадку може збігатися з напрямком обертання шліфувального круга або бути спрямованим проти нього.

Особливістю правки шліфуванням є те, що швидкість обертання круга, який правиться, повинна бути невеликою - не більше 25 м/хв (в 60 разів повільніше, ніж при шліфуванні), в той час як обертання інструменту який править має бути нормальним робочим. Правка кругів алмазними роликами

може виконуватися методом врізання або методом шліфування з поздовжньою подачею. При правці шліфувальних кругів алмазними роликами зменшуються радіальна складова сили різання і витрати потужності при шліфуванні, а стійкістьна наробка круга підвищується на 30-45% [2, 3, 4].

Застосування алмазно-металевих роликів (рис. 3) і дозволяє скоротити час на правку, а в деяких випадках - зовсім виключити її і таким чином підвищити продуктивність праці на верстаті до 25-30%.

Правка шліфувальних кругів алмазно-металевими роликами методом шліфування викликає менші зусилля, ніж при застосуванні для цієї мети кругів з карбиду кремнію. Алмазно-металеві ролики сприяють отриманню високої точності поверхні шліфувальних кругів і їх ощадливого витрачання. Правку алмазних кругів рекомендують проводити з охолодженням, яке запобігає згоряння алмазних зерен і має відбуватися при температурі не вище 700-800° С.

Правка алмазними роликами має ряд переваг в порівнянні з іншими способами. Зносостійкість алмазних кругів в 50 ... 100 разів вище, ніж алмазних інструментів, що правлять способом обточування.

Працездатність роликів визначається багатьма факторами:

- зносостійкість, що характеризується відносною витратою СТМ до кількості сошліфованого матеріалу, в міліграмах на кілограм;
- ріжуча здатність, яка характеризується кількістю сошліфованого матеріалу в одиницю часу;
- кромкостійкість, яка характеризується кількістю циклів правки, протягом яких зберігається заданий робочий профіль ролика;
- якість правки, що впливає на вихідні параметри обробленої поверхні.

Стійкість роликів коливається в залежності від виду операції правки від 10 до 90 тис. правок.

На підставі аналізу викладеного встановлено, що з кращого боку себе зарекомендували алмазні ролики оскільки вони забезпечують: кращий мікрорельєф, гостроту ріжучих зерен абразивного інструменту, биття не перевищує 0,01 мм, і підвищується стійкість абразивного круга в 1,5-2 рази в порівнянні з правкою безалмазним інструментом.

З метою візуалізації процесу правки передбачається проведення додаткових експериментів, які дозволять побудувати 3-D моделі одержуваних мікрорельєфів абразивних кругів.

Список використаних джерел:

1. Инструменты из сверхтвердых материалов /Под ред. Н.В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. - 555 с.: ил. (Б-ка инструментальщика).
2. Справочник инструментальщика /Под ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.: ил. (Б-ка инструментальщика).
3. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: справ. /Н.П. Винников, А.И. Грабченко, Э.И. Гриценко и др. под ред. Н.В. Новикова. Киев: Техника, 1988. - 118 с.
4. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1980. - 320 с.

УДК 621. 941.005

Носков А.О., наук. кер. *Войтенко В.І., к.т.н., доц.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: V_Voitenko@inbox.ru

ВПЛИВ СТІЙКОСТІ РІЗЦЯ НА СОБІВАРТІСТЬ ПРИ ТОЧІННІ

Наведено результати моделювання впливу заданої стійкості фрези на собівартість фрезерування на верстаті HAAS_EC-300 . Значення стійкості фрези задавалися в діапазоні 5 – 360 хв.

З метою оцінки залежності собівартості фрезерування від заданої стійкості фрези використовувався інтерактивний модуль "P4260_1" комбінованої системи автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки "Sapr_2014" [1,2]. Модуль, при заданих розмірах поверхні і якісних характеристиках до поверхні, забезпечує інтерактивний вибір фрези і її параметрів, розрахунок і призначення режимів різання в широкому діапазоні варіантів факторів, що впливають на процес різання. Складові розрахунку режимів різання і собівартості виводяться на екран для ознайомлення і зберігаються у відповідному файлі. Опис переходу виводиться на екран і зберігається в файлі - робочому варіанті технологічного процесу.

Використовуючи САПР ТП "Sapr_2014" [1,2], виконувалось моделювання впливу стійкості торцевої фрези на трудомісткість (тосн, хв), витрати енергії (А, кВт*хв) та на собівартість виконання переходу (С, грн). Далі подано фрагмент лістингу файлу Text.txt (задана стійкість 5 та 360 хв.) з результатами проектування переходу при використанні фрези ф100 мм зі стійкістю від 5 до 360 хв. На рис. 1 подано скріншот при задній стійкості 30хв та діаграми одержаних залежностей. Матеріал деталі Сталь 45, розміри поверхні В= 75мм, L= 500мм, глибина різання t=0,6мм, виконуваний розмір 35t8 мм, вимоги до шорсткості поверхні - Ra 1,6мкм. Було виконано 10-ть варіантів виконання переходу при значеннях стійкості фрези - 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 та 360 хв.

Фрагмент лістинга файла "Text.txt"

В,"4230 Програмна . ИОТ 68"
Д,"Багатоцільовий верстат HAAS_EC-300"

* Etap= E8 St=5 хв

О,"Фрезерувати поверхню (В=75, L=500), забезпечуючи розмір 35t8(+0.087,+0.048), Ra 1.60"

Т,"2214-0371 Фреза торцева ф 100, z= 10 , Т15К6 , ТУ2 2-035-910-83"

Р,"b= 75.0 мм, t= 0.60 мм, S= 1017.0 мм/хв, V= 598.9 м/хв,"

Р," n= 1906 об/хв, N рез.= 4.160 кВт, А= 2.488 кВт*хв"

Е," Lsum = 608,2 мм, Тосн= 0,60хв; C= 7,55 грн."

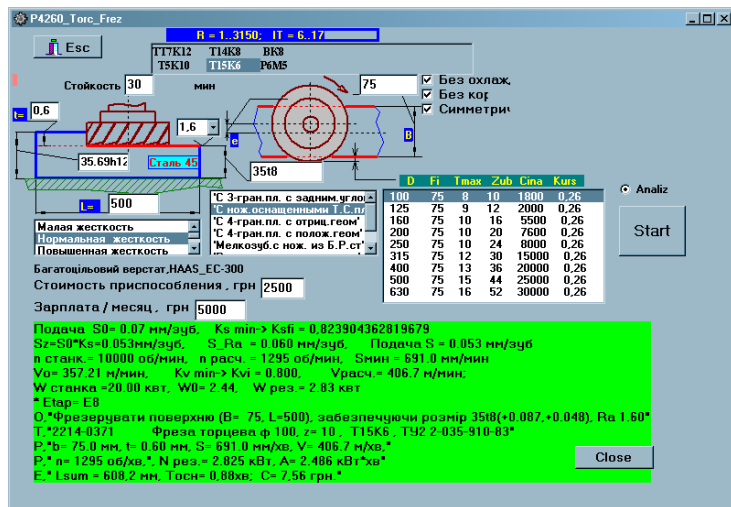


Рис. 1. Скріншот при моделюванні торцевого фрезерування в програмному засобі «Sapri_2014»

Далі подано два скріншоти повідомлень модуля «Собівартість» програмного засобу «Sapri_2014» зі складовими собівартості переходу (задана стійкість 5 та 360 хв.).

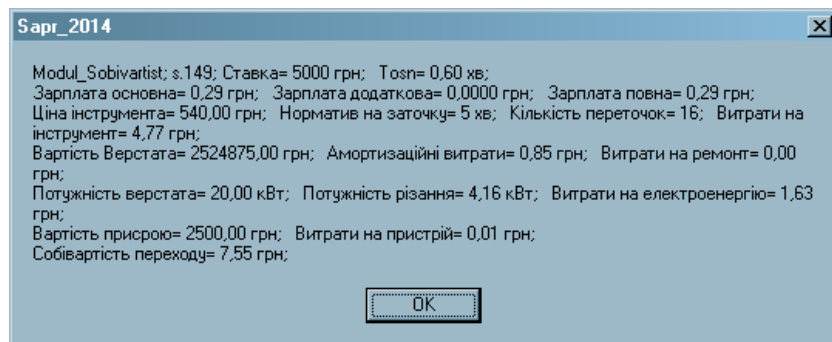


Рис. 2. Скріншот значень складових собівартості переходу (задана стійкість 5хв)

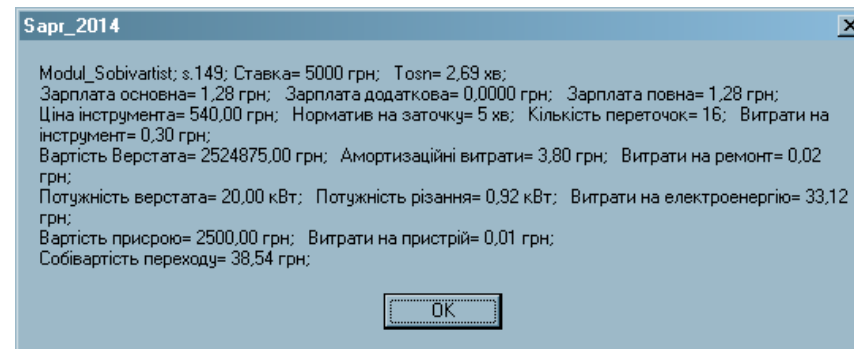


Рис. 3. Скріншот при розрахунку собівартості переходу (задана стійкість 360 хв)

На рис. 4 подана секторна діаграма, що відображує складові собівартості переходу при стійкості інструменту 10 хв.

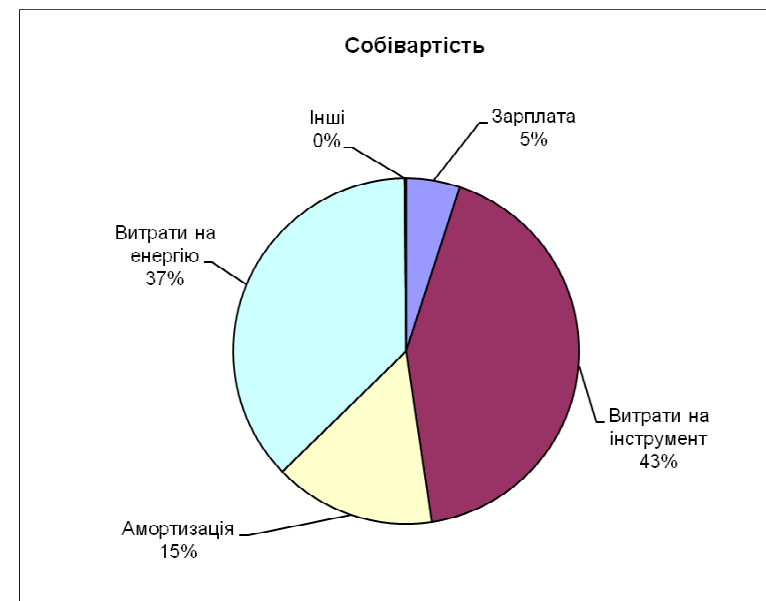


Рис. 4. Структура собівартості переходу при стійкості інструменту 10 хв

На рис. 5 приведена діаграма залежностей собівартості переходу, основної складової норми часу від заданої стійкості в діапазоні 5 – 360 хв.

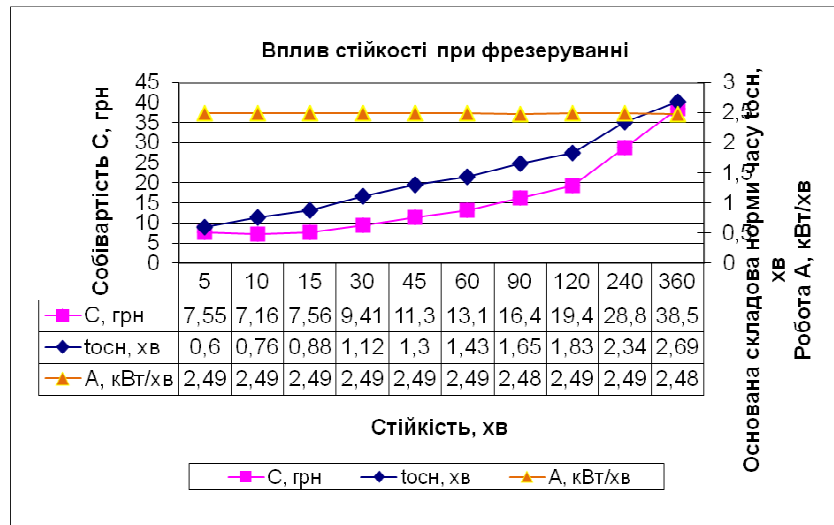


Рис. 5. Діаграма залежностей собівартості переходу та основної складової норми часу та складових собівартості, роботи від заданої стійкості фрези

Аналіз результатів свідчить, що мінімальна собівартість переходу при заданих характеристиках технологічної системи відповідає стійкості в 10 хв. Також можна зробити висновок, що трудомісткість виконання переходу буде найменшою при найменших значеннях стійкості. У той же час витрати енергії на виконання різання майже не змінюється. При цьому, якщо коефіцієнт підвищення стійкості від 5 хв до 240 хв складає 72, то трудомісткість зростає від 0,60 хв до 2,69 хв, тобто зростає тільки в 4,5 рази. Аналіз складових собівартості переходу при стійкості 10 хв свідчать, що найбільші витрати складають витрати на інструмент – 43 %, а витрати на амортизацію верстата складають лише 15%.

Список використаних джерел

- В.І. Войтенко. Програмний продукт „Система автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки SAPR_2014” (“SAPR_2014”). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 54522. від 30.04.2014. Державна служба інтелектуальної власності України. Бюлетень. "Авторське право та суміжні права" № 33.
- Система автоматизованого проектування технологічних процесів машинобудування : навч. посіб. / Войтенко В.І. - К.: НТУУ „КПІ”, 2012. -232 с. –Гриф МОНМС України від 21.02.2012 р.

УДК 621.9.048.6

Пасеніцький В.В., наук. кер. Петраков Ю.В., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: pasenbak@gmail.com, yp-86@yandex.ru

РІЗАННЯ МЕТАЛІВ З НАКЛАДАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ

Використання термоелектричної зборки в ізотермічних вагонах є найефективнішим компактним тепловим насосом, який абсорбує теплову енергію з однієї сторони і розсіює її з іншої, «гарячої» сторони зборки. Їх використання дозволяє здійснити термостабілізацію об'єктів при температурах вище або нижче температури навколишнього середовища.

В основі термоелектричної зборки лежить термоелектричний модуль: конструктивно завершений термоелектричний пристрій, в якому одиничним елементом є термopapa, яка складається з двох різновидних напівпровідникових елементів з р- і n- типу провідності [1] (рис. 1).

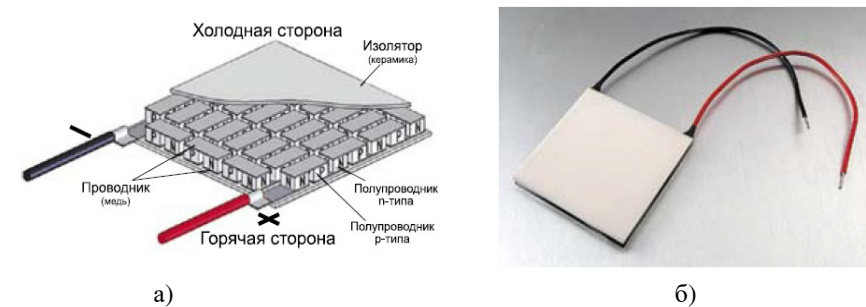


Рис. 1. Конструктивне виконання (а) і зовнішній вигляд (б) термоелектричного модуля

В залежності від призначення, густина теплового потоку і способу обміну тепловими потоками між об'єктом і зовнішньою термоелектричною зборкою виконуються з різними конструкціями теплообмінників. Найбільшого розповсюдження отримали теплообмінники з повітряним або рідким типом передачі тепла.

Використання термоелектричної зборки «повітря-повітря» є найбільш розповсюдженим за рахунок універсальності і простоти реалізації. До неї з обох сторін термоелектричного модуля приєднуються радіатори, у яких теплообмін забезпечується конвекцією повітряного потоку (рис. 2).

Використання радіаторів з ребристою поверхнею дозволяє з мінімальними температурними втратами передавати тепло від охолоджуючого об'єкта на холодну сторону модуля і з гарячої сторони модуля – в навколишнє середовище. Обдув радіаторів призводить до значного збільшення ефективності процесу. Інший спосіб досягти максимальної ефективності термоелектричної зборки є зменшення товщини ребер радіатора, що дозволить збільшити конвекцію повітряного потоку та збільшити площу відводу тепла від термоелектричного модуля до навколишнього середовища.

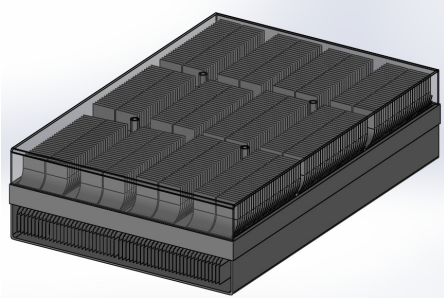


Рис. 2. Загальний вигляд термоелектричної зборки типу «повітря-повітря»

Виготовлення таких радіаторів для ізотермічних вагонів в машинобудуванні є складною задачею, що полягає у формуванні ребер, які мають товщину 0,2-0,3 мм, і висоту 25-30 мм. Запропоновану конструкцію можливо реалізувати за умови використання стружки у якості конструктивних елементів деталі. Таким чином треба забезпечити такий процес різання, при якому стружкоутворення буде відповідати вимогам утворення робочої поверхні радіатора. Аналіз результатів досліджень, представлених в роботі [2], дозволяє стверджувати, що одним із методів отримання подібної стружки є ультразвукове або вібраційне різання, де інструмент коливається з частотою 20 кГц та вище.

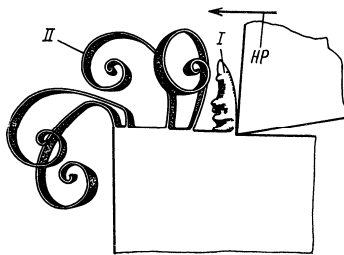


Рис. 3. Форма стружки: I – звичайне різання, II – вібраційне різання

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Ультразвукова обробка істотно відрізняється від звичайного різання тим, що при різанні інструментом здійснюються коливальні рухи, в результаті чого значно полегшуються умови стружкоутворення і форма стружки, при певних параметрах процесу, може відповідати формі поверхні радіатора (рис.3).

При такому різанні можна шляхом накладання відповідних частот широкого спектру створити умови, при яких слабо коливна різальна кромка буде залишатися нерухомою. Відповідно, з'явиться спосіб прецизійного оброблення, який дає змогу отримати поверхню з низькою шорсткістю і без відхилень від площинності. При такому способі отримується зливна стружка, яка має вузький і постійний інтервал зсуву. Бажаний напрямок коливання різальної кромки повинен співпадати з напрямом сили різання, тобто у напрямку дії головної складової сили різання. Пропонується виконувати операцію на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК за схемою, що представлена на рис. 4.

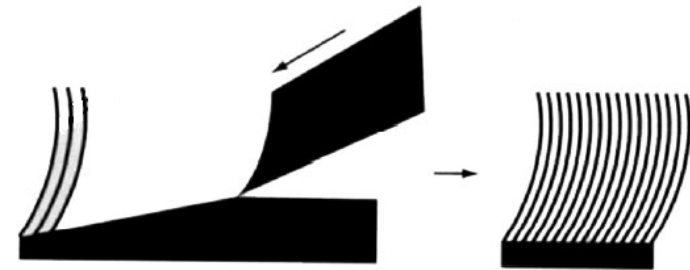


Рис. 4. Схема виготовлення ребер радіатора

Для забезпечення ультразвукових коливань використовуються магнітострикційні вібратори з концентраторами спеціальної форми, що дозволяє збільшувати амплітуду коливань інструменту. Якість процесу залежатиме від багатьох факторів, а саме: режим різання, напрям коливань, геометричні параметри інструменту тощо. Проведення таких досліджень вимагає створення спеціального інструментального пристрою, який встановлюється в шпindel верстата і містить в собі магнітострикційний вібратор, з'єднаний з інструментом.

Список використаних джерел:

1. Компоненты и технологии [Електронний ресурс]: Тепловой контроль объектов на базе термоэлектрических сборок – Елект. Дан. – 2011. – Режим доступа: http://www.kit-e.ru/articles/device/2011_9_142.php вільний.
2. Вибрационное резание: Пер. с яп. С. Л. Масленникова/Под ред. И. И. Портнова, В. В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с., ил.

УДК 623.328

Підпаллий В.І., наук. кер. Писаренко В.В., к.т.н.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: pisarenkovv@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ПОДАЧІ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

З року в рік до деталей сучасного машинобудування посилюються вимоги до якості і точності їх виготовлення, а як відомо величина цих параметрів залежить від режимів різання і геометричних параметрів різального інструменту. Для сучасного виробництва важливим є продуктивність роботи верстатного обладнання, тобто робота на максимальних режимах різання з отриманням заданих параметрів точності оброблення.

Однією з таких проблем є деформація, а саме відгин, фрези при фрезеруванні кінцевими фрезами карманів, уступів, тощо, який є основною причиною передчасного виходу з ладу різального інструменту та незадовільної точності виготовленої деталі, що в свою чергу передбачає додаткові затрати на повторне оброблення неякісних поверхонь.

Оскільки режим різання призначається безпосередньо технологом програмістом з власного досвіду, або в кращому випадку з рекомендацій фірм виробників інструментальних матеріалів, то постає актуальна науково технічна задача автоматичного призначення режиму різання при кінцевому фрезеруванні карманів, уступів з різними перепадами висот на різних ділянках траєкторії. Параметрами якими можна управляти під час різання є глибина різання, швидкість та подача. Будь-яка САМ система розбиває припуск на рівні частини, тому управляти глибиною різання немає можливості. Швидкість різання, найчастіше рекомендується компанією виробником інструментів в вузькому діапазоні, що відповідає її найбільшому періоду стійкості. Подача є також рекомендованим параметром, але діапазон її зміни доволі значний, що дає можливість змінювати її під час обробки отримуючи ті чи інші параметри обробленої поверхні.

Сила різання при фрезеруванні кінцевою фрезою розраховується за наступною формулою [1]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot h^{x_p} \cdot S_z^{y_p} \cdot b^{u_p} \cdot z \cdot K_{mp}}{d^{q_p} \cdot n^{w_p}}, \quad (1)$$

де h – ширина фрезерування, мм; S_z – подача на зуб фрези, мм/зуб; b – глибина фрезерування, мм; z – кількість зубів фрези; d – діаметр фрези, мм; n – частота обертання фрези, об/хв.; $C_p, x_p, y_p, n_p, q_p, u_p$ – коефіцієнт та показники степеня математичної залежності; K_{mp} – поправочний коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу та його фізико механічних характеристик.

Деформація фрези, в даному випадку розглядаємо тільки відгин, розраховується за формулою з опору матеріалів при консольному защемленні:

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

$$\Delta = \frac{P_z \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}, \quad (2)$$

де l – довжина вільоту фрези, мм; E – модуль пружності; I – момент інерції, для круглого перерізу розраховуємо за формулою:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}. \quad (3)$$

Для розрахунку деформації фрези було розроблено прикладну програму, математичний апарат якої складає представлені вище математичні залежності (1-3). Для перевірки роботи здатності розробленої прикладної програми було розраховано деформацію фрези методом кінцевих елементів за допомогою програмного модуля CAE системи ANSYS [2, 3]. При однакових початкових умовах експерименту, а саме: ширина фрезерування 2мм; глибина різання 10мм; частота обертання фрези 1500об/хв.; діаметр фрези 10мм; кількість зубців фрези 4; виліт фрези 60мм. Було отримано наступне:

- деформація інструменту в CAE системі ANSYS складає 0,3896мм;
- деформація інструменту за розробленою програмою складає 0,3498мм.

Тобто похибка розрахунків складає близько 10%. Це пов'язано насамперед з завданням точності початкових умов, а саме щільності сітки, в CAE системі. При більш щільному розташуванні кінцевих елементів в сітці похибка розрахунків зменшується, однак це потребує значних ресурсів комп'ютера. Копія екрану розрахунків в CAE системі та за допомогою розробленої прикладної програми представлено на рис. 1.

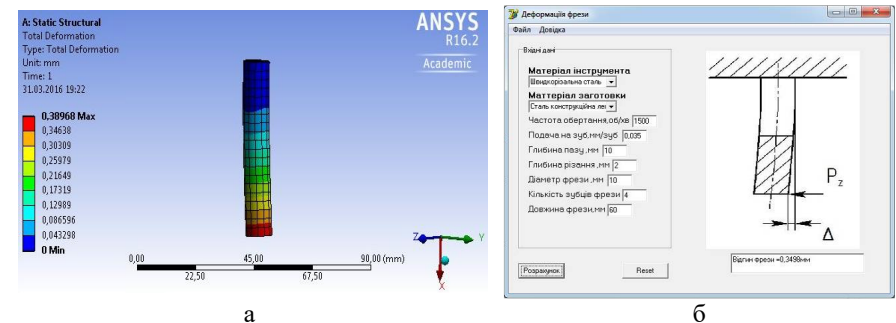


Рис. 1. Розрахунок деформації фрези (а – методом кінцевих елементів, б – аналітичним методом)

Після підстановки (1), (3) у (2) отримаємо:

$$\Delta = \frac{10 \cdot C_p \cdot h^{x_p} \cdot S_z^{y_p} \cdot b^{u_p} \cdot z \cdot K_{mp} \cdot l^3 \cdot 64}{3 \cdot E \cdot I \cdot \pi \cdot d^{4+q_p} \cdot n^{w_p}}. \quad (4)$$

Розв'язок рівняння (4) доцільно проводити чисельними методами, за алгоритмом представленим на рис. 2.

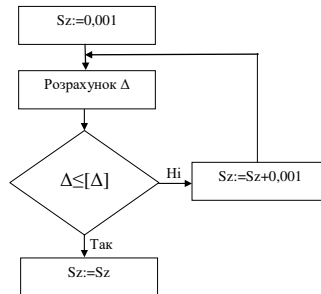


Рис. 2. Алгоритм розрахунку подачі на зуб чисельними методами

Алгоритм розрахунку подачі на зуб при фрезеруванні кінцевою фрезою покладено в основу розробленої прикладної програми. Копія екранів роботи прикладної програми представлено на рис. 3. На рис. 3,а – копія екрану для вводу початкових даних, на рис. 3,б – розраховане значення допустимої подачі на зуб, при заданій точності оброблення.

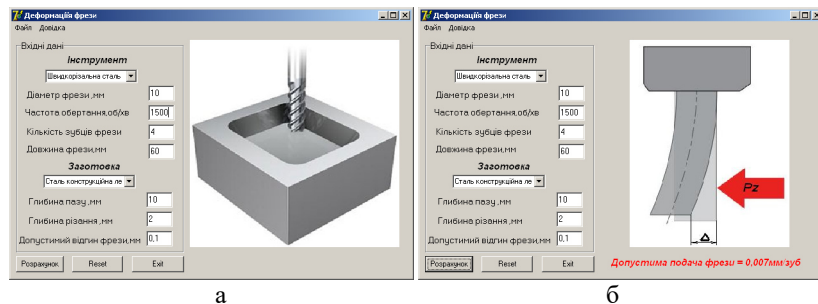


Рис. 3. Копія екранів роботи прикладної програми розрахунку оптимальної подачі (а – введення початкових даних, б – результати обчислення)

В роботі наведено методику розрахунку деформації кінцевої фрези при фрезеруванні уступів, виконано порівняльний аналіз розрахунків методом кінцевих елементів та аналітичним методом. Оскільки розрахунки проводилися без урахування динаміки процесу фрезерування, то рекомендується використовувати розрахункові значення подачі на зуб фрези з коефіцієнтом 0,8.

Список використаних джерел:

1. Справочник технолога-машиностроителя. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслowa -М.: Машиностроение-1, 2003, 944с.
2. http://mguler.etu.edu.tr/WB-Mech_120_Ch04_Static.pdf
3. <http://www.sdcpublishations.com/pdfsamples/978-1-58503-581-6-6.pdf>

УДК 623.451: 519.6

Руденко Р.О., наук. кер. Фролов В.К., к.т.н., доц., Лашина Ю.В., к.т.н., доц. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: superheroroman@gmail.com, v.k.frolov@gmail.com, y.lashyna@gmail.com

КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛУ ГАУССА

Точність механічного оброблення деталей визначається сумою похибок оброблення, більшість з яких носить випадковий характер. Це обумовлює необхідність використання апарату теорії ймовірності та математичної статистики при аналізі залежності сумарних похибок виготовлення деталі від різноманітних факторів, точності технологічного обладнання, надійності технологічних процесів, розробленні способів контролю якості деталей та виробів тощо [1].

При обробленні заготовок на попередньо налагоджених верстатах результуюча похибка формується через одночасний вплив великої кількості елементарних похибок, які залежать від стану складових технологічної обробляючої системи (обладнання, інструмента, пристрою, заготовки, охолоджуючого середовища) в певний проміжок часу. При обробленні заготовок з точністю IT8...IT14 елементарні похибки є взаємно незалежними випадковими величинами без домінування жодної з них та однаково впливають на результуючу похибку. Через це розподіл істинних розмірів оброблених деталей підпорядковується нормальному закону розподілу випадкових величин (розподілу Гаусса).

Розрахунок параметрів розподілу Гаусса навіть при невеликій кількості експериментальних даних за відсутності відповідного програмного забезпечення є трудомістким та достатньо складним завданням, отже може призвести до появи похибок в результатах розрахунків.

В Microsoft Office Excel вбудовано функцію «НОРМРАСП» для роботи з нормальним законом розподілу, яка дозволяє розрахувати значення нормальної функції розподілу для конкретного значення випадкової величини. Для цього необхідно ввести в програму експериментальні дані, розрахувати значення середнього арифметичного та середньоквадратичного відхилення, за допомогою стандартних функцій «СРЗНАЧ» та «СТАНДОТКЛОН» відповідно. Для застосування функції «НОРМРАСП» необхідно сформувати масив значень випадкової величини у порядку зростання від мінімальної до максимальної з певним кроком. Чим більше масив значень, тим більш гладкий графік отримаємо. Але при обробленні експериментальних даних може виникнути проблема, коли їх кількість перевищує максимально можливу, що встановлюється заданим діапазоном комірок. Тому таке рішення задачі має певні обмеження та не може бути універсальним. Крім того, в Microsoft Office

Excel не дуже зручний інтерфейс для виконання задач такого типу. Також слід зазначити, що програма, створена в останніх версіях, може некоректно працювати в більш ранніх через відсутність деяких функцій.

Метою даної роботи є автоматизація оброблення експериментальних даних, що підпорядковуються розподілу Гаусса.

Для досягнення поставленої мети авторами розроблено комп'ютерну програму «Gaussian Function Calculator», яка має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс [2]. Всю необхідну для роботи інформацію можна отримати, ознайомившись з вбудованою в програму довідкою.

Вихідними даними для розрахунків є експериментальні дані, які можуть бути введені користувачем вручну у відповідній частині інтерфейсу програми (рис. 1) або експортовані з текстового файлу, приклад змісту якого наведено на рис. 2.

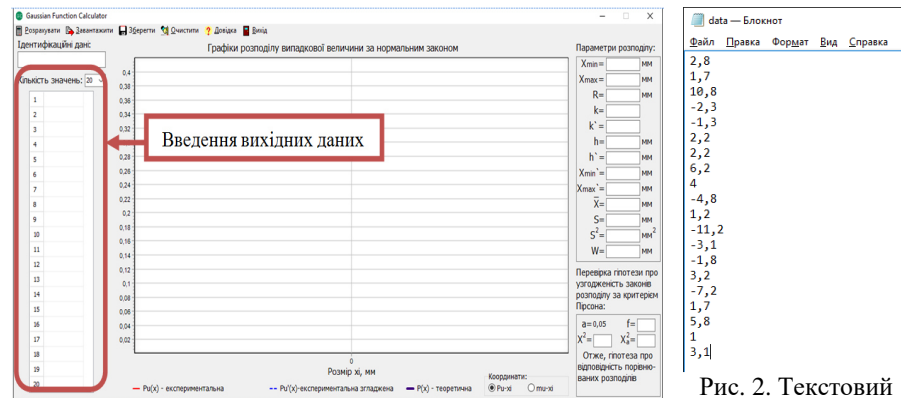


Рис. 1. Інтерфейс головного вікна програми «Gaussian Function Calculator»

Рис. 2. Текстовий файл з вихідними даними

В результаті оброблення експериментальних даних програмне забезпечення розраховує наступні параметри розподілу: мінімальне та максимальне значення випадкової величини X_{min} , X_{max} , розмах випадкової величини R , розрахункову та кореговану кількість інтервалів k , k' , розрахункову та кореговану ширину інтервалу h , h' , кореговані мінімальне та максимальне значення випадкової величини X'_{min} , X'_{max} , середнє арифметичне значення випадкової величини $\bar{X}$, середньоквадратичне відхилення та дисперсію випадкової величини S та S^2 , поле розсіювання випадкової величини $W=6S$. Результати розрахунків виводяться у відповідне поле користувацького інтерфейсу (рис. 3).

На основі розрахунків автоматично виконується перевірка узгодженості експериментального та теоретичного розподілів випадкових величин за χ^2 -критерієм згоди Пірсона. За допомогою цього критерію визначається ступінь

розходження між частотами порівнюваних розподілів при рівні значущості $\alpha=0,05$ та числі ступенів вільності $f=3$. Якщо розрахункове значення χ^2 більше табличного χ^2_{α} , то гіпотезу про відповідність порівнюваних розподілів одне одному відкидають, якщо $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha}$ – приймають.

Результати розрахунку представляються у виді експериментального, згладженого та теоретичного графіків розподілу випадкової величини в двох системах координат. За віссю ординат можна виводити значення ймовірності P_u або частоти m_u попадання випадкової величини в певний інтервал (рис. 3).

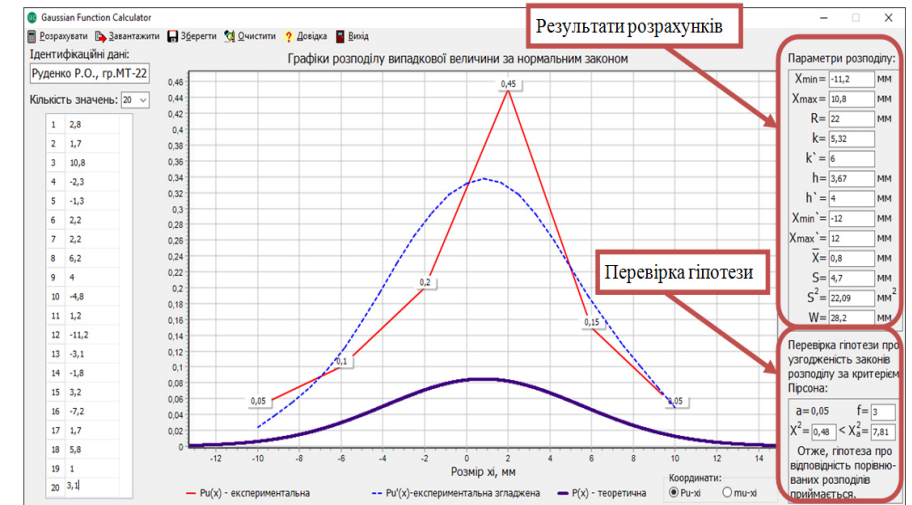


Рис. 3. Результати розрахунків та графіки розподілу випадкової величини

Розроблена комп'ютерна програма може бути використана для оброблення експериментальних даних, що отримані при дослідженні будь-яких підпорядкованих розподілу Гаусса природних процесів. Зокрема, програма впроваджена в навчальний процес та використовується при обчисленні результатів лабораторних робіт з дисципліни «Технологія машинобудування».

Список використаних джерел:

1. Сучасні методи аналізу технологічних процесів у машинобудуванні: Навч. посібник / В.В.Душинський. – К.: ІСДО, 1994. – 216 с.
2. Фролов В.К., Лашина Ю.В., Руденко Р.О. Комп'ютерна програма «Gaussian Function Calculator «GFC». Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 63408 від 04.01.2016. Державна служба інтелектуальної власності України. Бюлетень «Авторське право та суміжні права» № 40. Каталог № 20.

УДК 621.914.1

Сабібіна О.О., наук. кер. Лапковський С.В., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: Lapkovsky@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ФРЕЗ COROMILL ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Фрезерування — один із найпродуктивніших та розповсюджених методів металообробки. З точки зору надання заготовці бажаної форми цей метод є найбільш універсальним методом обробки, але, одночасно з цим, він є багатокomпонентним процесом, що утруднює його оптимізацію [1].

До фрезерних операцій відносять: торцеве фрезерування, фрезерування уступів, фрезерування пазів, профільне фрезерування, різьбофрезерування, вихрове нарізання різьби, зубофрезерування. Торцеве фрезерування є однією з найбільш поширених операцій фрезерування, для його виконання можна використовувати фрези різної конструкції (рис. 1).

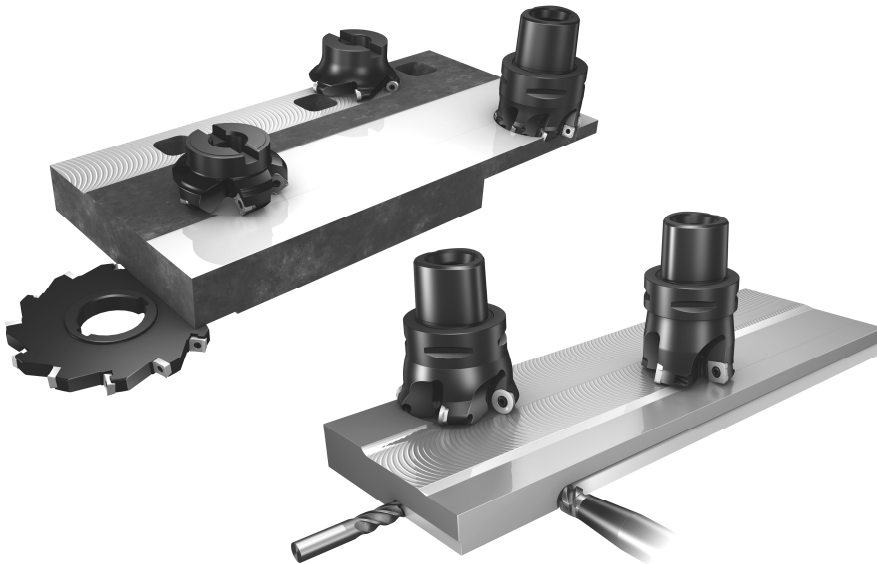


Рис. 1. Використання фрез різної конструкції при торцевому фрезеруванні

Найбільш часто застосовуються фрези з головним кутом в плані 45° , але, окрім них, для торцевого фрезерування можуть застосовуватися фрези з круглими пластинами, дискові трьохсторонні та кінцеві фрези [2].

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

Світовий лідер в галузі виробництва різального інструменту — Sandvik Coromant — пропонує цілу гаму фрез серії CoroMill, які були спеціально спроектовані для виконання операції торцевого фрезерування [1 – 3]. Особливої популярності ці фрези стали з 2012 року [3].

Фрези CoroMill мають сталевий або алюмінієвий корпус, на якому в спеціальних гніздах кріпляться різальні пластини. Надійна фіксація здійснюється за допомогою рифлених базових поверхонь, які, до того ж, сприяють зменшенню величин биття фрези. Причому, завдяки мікроточному регулюванню, можна фіксувати потрібно осьове розташування різальних пластин з точністю 0,1 мм. Така конструкція фрези забезпечує не тільки надійність високошвидкісної обробки, але і сприяє ефективному відведенню стружки за рахунок прискорених потоків MOR.

Вибір конкретної конструкції фрези CoroMill для кожного окремого випадку залежить від багатьох факторів, і від глибини різання h та подачі на зуб s_z , в тому числі (рис. 2).

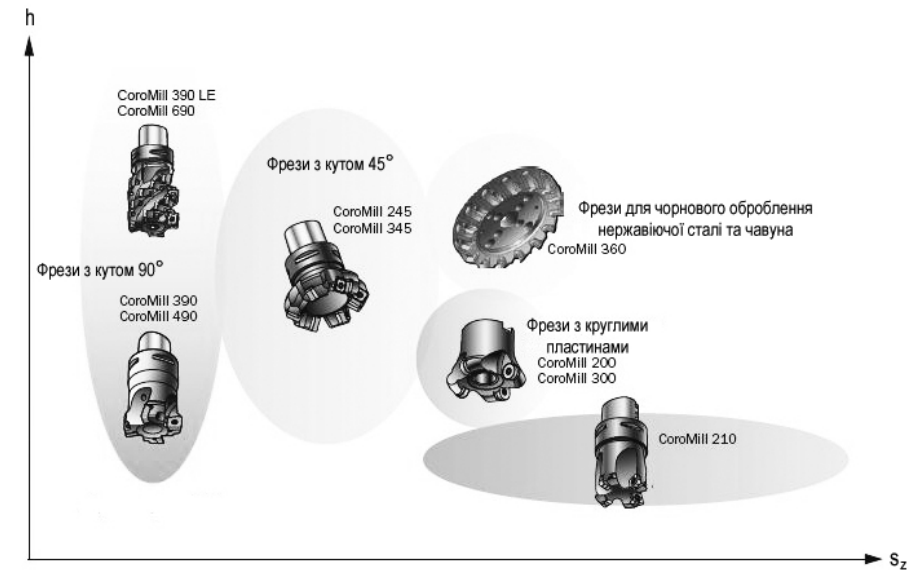


Рис. 2. Основні області використання фрез серії CoroMill

Список використаних джерел:

1. www.columbuss.ru.
2. www.sandvik.coromant.com.
3. <http://www.et-rus.ru>.

УДК 621.9:510.64

Семеренко В.С., наук. кер. Лапач С.М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: vetal93_10@mail.ru, lapach@ukr.net

ЗАСТОСУВАННІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В МАШИНОБУДУВАННІ

Проблема. Низька інформованість про нечіткі обчислення при великій потребі в їх використанні.

Стан. Розвиток нечітких обчислень [1–4] був стимульований можливістю застосувати досвід операторів і технологів для управління процесами при їх автоматизації. Хоча останнім часом почалося їх застосування в технологію машинобудування, для широкого загалу це майже невідомо.

Мета. Інформувати про типові зразки застосування нечіткої логіки в технології.

Точність і якість поверхні вибором методів обробки.

Необхідні точність і якість поверхонь деталей можна забезпечити поєднанням різних методів обробки. При цьому варіативність методів обробки та пов'язаних з ними значень ступеня точності (якості) і показника шорсткості поверхні (Ra) ускладнює процес вибору оптимального способу і є досить складним завданням управління якістю технологічних процесів. Вибір методу обробки, який здійснюється на основі рекомендованих довідкових значень точності і шорсткості поверхні деталей, а також експертних оцінок, є класичною задачею прийняття рішення при нечіткій вихідній інформації. Так для процесу виготовлення деталей з циліндричними поверхнями отримуємо безліч допустимих альтернатив, що визначаються залежностями, формалізованими на основі рекомендованих довідкових значень якості (IT) і шорсткості поверхні (Ra) і значень функції приналежності методів обробки (M), визначених евристичним методом (табл. 1).

Таблиця 1. Точність і якість поверхні при обробці зовнішніх циліндричних поверхонь деталей діаметром 50 - 80 мм

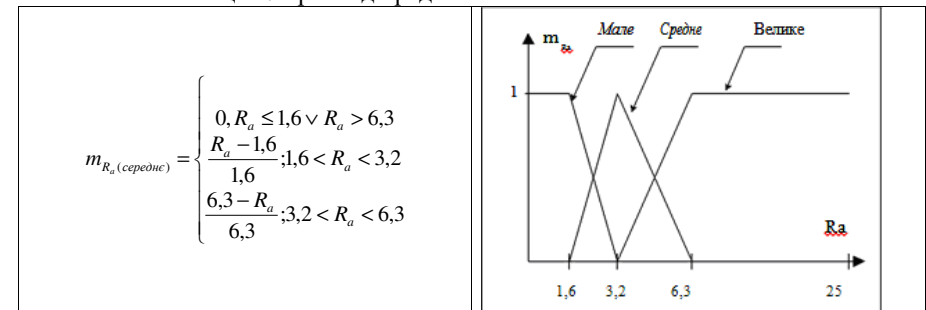
№	Метод обробки	Інтервал IT		Інтервал Ra		M
1	Обточування чорнове	12	11	25	12,5	0,9
2	Обточування напівчистове	10	9	6,3	3,2	0,8
3	Обточування чистове	9	8	6,3	3,2	0,7
4	Обточування тонке	7	6	3,2	2,5	0,6
5	Шліфування попереднє	7	6	3,2	2,5	0,6
6	Шліфування чистове	7	6	2,5	1,6	0,5
7	Шліфування тонке	6	5	2,5	1,6	0,4
8	Притирка, суперфінішування	6	5	1,6	0,8	0,3
9	Алмазне вигладжування	6	5	1,6	0,8	0,3

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Ці альтернативи можуть бути представлені як у вигляді предикатів QR_i виду $QR_1 = (12,5 \leq R_a \leq 25) \wedge (11 \leq IT \leq 12)$. Для розробки моделі підтримки прийняття рішення щодо вибору методу обробки, були визначені функції приналежності трьох нечітких змінних: шорсткості поверхні (Ra), якості (IT) та методу обробки (M) з лінгвістичними категоріями «мале значення Ra, IT, M», «середнє значення Ra, IT, M» і «велике значення Ra, IT, M» [5, 6].

Функції приналежності були представлені у вигляді кусочно-лінійних функцій класів L, t і γ з урахуванням даних, наведених в табл. 1. Для показника шорсткості (Ra), значення якого змінюються від 1,6 мкм до 25 мкм функціональне і графічне представлення показано в табл. 2.

Таблиця 2. Приклад представлення нечітких залежностей



Для методу механічної обробки поверхонь деталей мінімальне і максимальне значення функції приналежності, відповідно 0,3 і 0,9, визначені евристично. Вид функцій приналежності показаний на рис. 1.

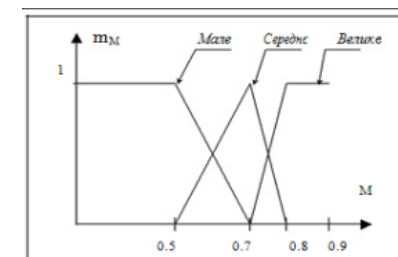


Рис. 1. Графіки функцій приналежності

Точність за рахунок контролю стану шпиндельного вузла.

Інформаційні системи верстатів з ЧПК в основному використовують інформацію, необхідну для контурного, тракторного управління інструментом і не аналізують стан механічної підсистеми верстата - жорсткість, наявність

засорів і їх зміну, зміну температури, - які в значній мірі визначають точність верстата в кожен конкретний момент часу. Для реалізації поставлених завдань була розроблена система моніторингу стану шпиндельного вузла верстата на базі нечіткої логіки [7]. В якості вхідних даних використовуються значення температури в чотирьох точках шпиндельного вузла а також розрахункове значення радіальної складової зусилля різання, яка додається до консолі шпиндельного вузла. Функції приналежності визначалися відповідно до методики ANFIS, що представляє собою об'єднання нечітких правил продукції та нейронної мережі для навчання системи нечіткої логіки. Радіальна жорсткість шпинделя при температурі 20°C має значення близько 108 Н/м. З ростом температури шпиндельної бабки має місце зменшення радіальної жорсткості шпинделя, що пояснюється температурними деформаціями підшипникових опор та інших елементів шпиндельного вузла, до значень порядку 107Н/м. Експериментальна перевірка показала відповідність значень жорсткості ШУ при зміні його температури, визначених НС моніторингу (рис. 2).

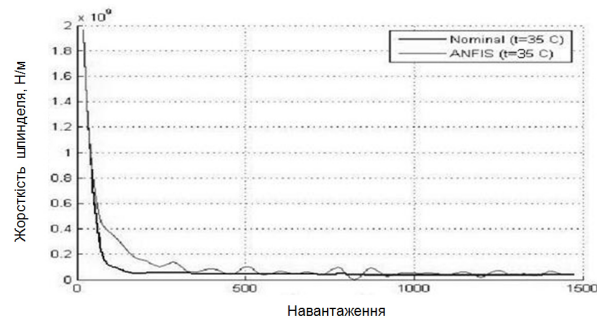


Рис. 2. Залежність жорсткості шпиндельного вузла, отримані в результаті моделювання (ANFIS), і експериментальні дані (Nominal)

Забезпечення конструкційно-заданих значень максимальних відхилень.

Одним з найважливіших показників якості виготовлених високоточних деталей на токарних верстатах з ЧПУ є забезпечення конструкційно-заданих значень максимальних відхилень від геометричної форми оброблюваних заготовок по довжині обробки. До переваг нейромережеві управління слід віднести: відсутність обмежень на лінійність системи, ефективність в умовах шумів. Нейромережеві СУ більш гнучко налаштовуються на реальні умови, утворюючи моделі повністю адекватні поставленому завданню, що не містять обмежень, пов'язаних з побудовою формальних систем і пропонують алгоритмічні підходи до завдань, вирішення яких викликає утруднення внаслідок неформалізованості. В результаті нейропрогнозування були отримані криві відхилень розмірів в партії з трьох штук гладкого валу, в різних

перетинах залежно від часу роботи верстата 16K20Ф3 (рис. 3). Зміна розмірів і форми деталей отриманих на початку зміни (крива - 1) і після 6 годин безперервної роботи верстата (крива - 2) пояснюється зміною його характеристик жорсткості та температурними деформаціями верстата. Обробка виконувалась з постійними режимами різання ($S = 0,3 \text{ мм / об}$; $n = 630 \text{ хв}^{-1}$; $t = 0,5 \text{ мм}$). Нейропрогноз за розробленим алгоритмом обчислень зміни форми і розмірів (криві - pr1 і pr2) показав ідентичність характеру кривих [8].

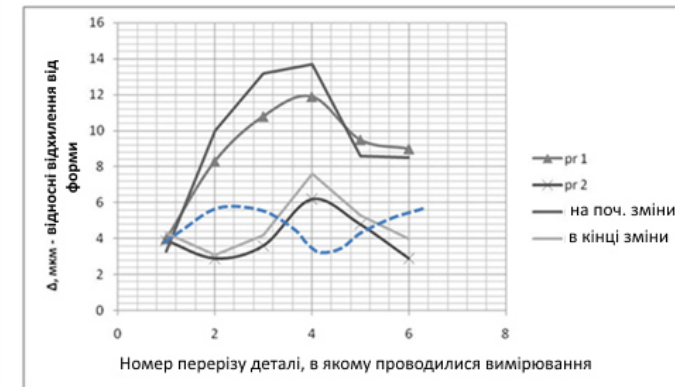


Рис. 3. Лінія корекції подачі інструменту (пунктир) для кривої прогнозу pr 2

Список використаних джерел:

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/ под. Ред. Д.А. Поспелова – М.: Наука. ГРФМЛ, 1986. – 312 с.
2. Прикладные нечеткие системы/ под. ред. Т.Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно –М. Мир, 1993.– 368 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
4. Рутковская Д, Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети. Генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
5. Применение метода нечеткого логического вывода для управления качеством продукции в условиях неопределенности / С. С. Федин, Р. М. Трищ, А. С. Зенкин // Системы обработки информации. - 2008. - Вип. 2. - С. 150-158.
6. Никишечкин А. П. Повышение качества процесса адаптации при изменении технологических параметров с помощью аппарата нейронных сетей: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06. Москва, 2002. – 110 с.: ил.
7. Интеллектуальный мониторинг шпиндельного узла на базе нечеткой логики / Э. В. Ремизов, Е. А. Лукьянов // Вестник ДГТУ - 2008. - №3. С. 221-225.
8. Применение элементов нечеткой логики с целью компенсации систематических погрешностей формообразования деталей на станках токарной группы / Д. Ю. Рязанов // Конструкторско-технологическая информатика - 2013. - № 5.

УДК 621.941.005

Тарамбула В.С., наук. кер. Біланенко В.Г., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: tarambulaws@ukr.net, victor_bilanenko@ukr.net

ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ ОБРОБЛЕННЯ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

Технічний і економічний розвиток суспільства приводить до збільшення потреб виробництва, яке потребує велику кількість важкооброблюваних матеріалів, що мають високу корозійну і питому міцність. Велику частину серед них займають титанові сплави, що характеризуються високими фізико-механічними і хімічними властивостями по відношенню до інших сплавів на різних основах. Виготовлення деталей машин з таких матеріалів потребує проектування ефективних та надійних технологічних процесів.

Фізико-механічні характеристики титанових сплавів забезпечують його подальше широке застосування в різних галузях промисловості і, в першу чергу, при виготовленні літальних апаратів та суднобудуванні. При проектуванні технологічних операцій механічного оброблення різанням таких матеріалів необхідно приймати до уваги специфічні особливості оброблення таких матеріалів, а саме:

- практичні проблеми забезпечення високої продуктивності оброблення;
- труднощі надійного забезпечення заданих характеристик якості обробних поверхонь;
- інтенсивне зношування лезових різальних інструментів.

Проектування операцій оброблення титанових сплавів торцевим фрезеруванням в наш час набуває великої актуальності, особливо з урахуванням постійного зростання областей їх застосування. Впровадження використання виробів з титанових сплавів росте із застосуванням нових і прогресивних технологій отримання і оброблення цих матеріалів.

При обробленні титанових сплавів виникають великі питомі зусилля, що призводить до високих температур в зоні різання, а з урахуванням низької теплопровідності титану і його сплавів виникають труднощі відведення тепла із зони різання. В результаті високих контактних температур та інтенсивну адгезію титанових сплавів в процесі їх оброблення спостерігається гальмування тонких шарів титану на поверхнях різального інструменту, що обумовлює значне зростання сили тертя. Наслідком налипання та приварювання титану на контактних поверхнях різального інструменту є некерована зміна геометричних параметрів різальної частини. Відхилення геометричних параметрів різального інструменту від оптимальних значень призводить до подальшого підвищення зусиль оброблення, контактних температур в зоні різання та значному зростанню інтенсивності зношування леза інструменту. Найбільший вплив на

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

зміну контактних температур в зоні різання має швидкість різання і значно менше подача [1].

Розглядаючи фрезу в процесі різання (рис. 1), можна встановити, що на кожен зубець фрези, що знаходиться в куті контакту ψ , діє своя сила протидії зрізуваного шару. Сили R_1 , R_2 і R_3 , що діють при фрезеруванні проти подачі. Кожну з цих сил можна розкласти на складові P_{z1} , P_{z2} і P_{z3} , діючі тангенціально до зубців фрези, і на сили P_{p1} , P_{p2} і P_{p3} , діючі по радіусах фрези.

Складаємо графічну суму всіх трьох складових, що дає в результаті головну складову або дотичну силу P_z і радіальну силу P_p з рівнодіючою силою R . Розкладаємо за правилом паралелограма рівнодіючу R на дві взаємно перпендикулярні сили – горизонтальну P_f і вертикальну P_B .

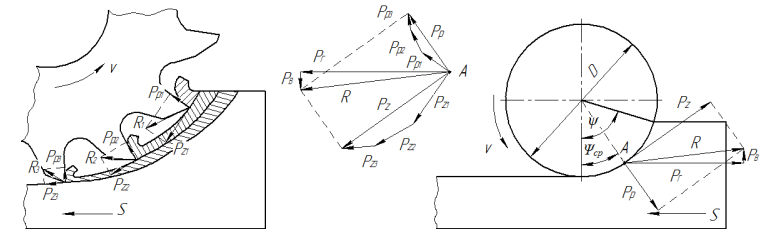


Рис. 1. Схема дії складових сил різання

Для подолання сили опору різання на кожен зубець фрези повинні бути додані такі ж, але протилежно спрямовані сили реакції з рівнодіючими R_1 , R_2 і R_3 , які можна розкласти на складові. Складаємо сумарну схему дії кожного зубця фрези, віднесені до середнього кута контакту $\psi/2$.

Сила різання буде записуватись у вигляді (1):

$$P_{piz.} = \sqrt{P_z^2 + P_p^2}, \quad (1)$$

Найбільш важливою складовою є дотична складова сили різання P_z , яка має велике значення для фактичного результату знімання стружки і особливо для визначення витрати потужності на різання, а також для розрахунку верстатів на міцність.

Дотична складова сили різання може бути розрахована за формулою:

$$P_z = k \cdot f \cdot p = a \cdot b \cdot p, \quad (2)$$

де f - переріз шару, що зрізується при фрезеруванні (мм), p - питома сила різання (Н/мм²), a - товщина зрізуваного шару (мм), b - ширина зрізуваного шару.

Кількість зубців, що одночасно здійснюють оброблення поверхні визначають за формулою:

$$k = \psi / \zeta, \quad (3)$$

де ψ – кут контакту зубця фрези з оброблюваною поверхнею, град; ζ – центральний кут між зубцями фрези (величина ζ може бути змінною), який визначається за формулою:

$$\zeta = 360/z, \quad (4)$$

де z – кількість зубців фрези.

Таким чином процес різання є близьким до рівномірного коли сумарна площа перерізу зрізаного шару всіма зубами, що одночасно беруть участь у різанні, – величина постійна [3].

Елементарна площа перерізу зрізаного шару визначається за формулою (рис. 2):

$$df = a_r dl, \quad (1)$$

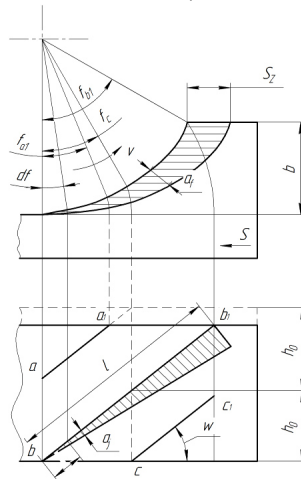


Рис. 2. Визначення сумарної площі зрізаного шару

Площа перерізу зрізаного шару одним зубом в будь який момент часу визначається за формулою (6):

$$f = \int_{\eta_b}^{\eta_{b1}} \frac{S_z \cdot \sin \eta \cdot D}{2 \sin \omega} d\eta, \quad (2)$$

Інтегруючи цей вираз по всій довжині різальної кромки, що приймає участь в роботі, враховуючи, що подача на зубець фрези S_z , діаметр фрези D і кут нахилу зубців ω є постійними величинами, η_b , η_{b1} – миттєві кути контакту початкової b_1 і кінцевої b точок різальної кромки зубця фрези із заготовкою, отримують сумарну площу перерізу зрізаного шару всіма зубцями, що одночасно знаходяться в роботі визначається за формулою (7):

$$f_{\Sigma} = \frac{D \cdot S_z}{2 \sin \omega} \sum_{i=1}^k (\cos \eta_{i1} - \cos \eta_{i1}), \quad (3)$$

де η_{i1} , η_{i1} – відповідають миттєвим кутам контакту із заготовкою початкової і кінцевої точок різальних кромки, k – кількість зубців, що одночасно знаходяться в роботі.

Якщо $f_{\Sigma} \neq const$, то процес фрезерування нерівномірний. У вищенаведеному рівнянні параметри S_z , D і ω є для даних умов величинами постійними, тому рівномірність процесу буде визначатися тільки різністю косинусів кутів і матиме вигляд (8):

$$\sum_{i=1}^k (\cos \eta_{i1} - \cos \eta_{i1}) = 2(\cos \eta_{\min} - \cos \eta_{\max}) + (\cos \eta_c - \cos \eta_{a1}), \quad (4)$$

На питому силу різання p головним чином впливають властивості оброблюваного матеріалу. Питомі сили різання p визначаються з формули (9):

$$p = \frac{P_c}{a^m}, \quad (5)$$

де p_c – питома сила різання при поперечному перерізі стружки $f = 1 \text{ мм}^2$ ($b = 1 \text{ мм}$, $a = 1 \text{ мм}$), m – тангенс кута нахилу α . Питомі сили різання на 1 мм^2 перерізу стружки p_c і α залежать від властивостей оброблюваного матеріалу.

Питома сила різання для титанових сплавів експериментальним шляхом визначені за даними [2]. Питомі сили різання p для титану наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Основні результати розрахунків

Оброблюваний матеріал	Позначення матеріалу по DIN	Границя міц. σ (Н/мм ²)	p_c (Н/мм ²)	m	Питома сила різання p_c (Н/мм ²) в залежності від товщини зрізаного шару a , мм				
					0,1	0,3	0,5	0,8	1,6
Титан, титанові сплави	TiAl6V4	850-1200	1,180	0,24	2,051	1,764	1,585	1,245	1,054

Результати можуть використовуватись при проектуванні операцій оброблення фрезеруванням титанових сплавів.

Список використаних джерел:

1. Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Оброблення різанням титанових сплавів // М. Машинобудування. – 1970.-180с.
2. GARANT ToolScout – Довідник по обробці різанням. 2015.-1083с.
3. Яремчук О.В., Л.М.Данилова, Вибір кінцевих фрез при високошвидкісному обробленні / Збірка тез доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція "Технологія машинобудування" / Укладач Фролов В.К. – К: НТУУ "КПІ", 2015. – С.105-107.

УДК 621.941.005

Тарамбула В.С., Біланенко В.Г., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: tarambulaws@ukr.net, victor_bilanenko@ukr.net

ВІБРАЦІЇ ПРИ ОБРОБЛЕННІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

Віб्राції завжди супроводжують будь-який процес механічного оброблення і є одним з негативних чинників. Результатом вібрацій є шум, погана якість оброблення, зменшення періоду стійкості інструменту, а також передчасний знос вузлів верстата. Завдання полягає в заданні таких умов і параметрів різання, щоб максимально ефективно здійснити оброблення із заданими вимогами до якості і точності виробів.

Продуктивність процесу фрезерування, в значній мірі пов'язана з вібраціями. Головні причини виникнення вібрації при фрезеруванні наступні:

- 1) недостатня жорсткість системи ТОС;
- 2) зміна розміру стружки в процесі оброблення;
- 3) вплив врізання і виходу з контакту окремих зубців фрези;
- 4) великий виліт інструменту;
- 5) некоректна подача столу;
- 6) вібрації при обробленні в кутах.

Характерною особливістю при обробленні титанових сплавів є схильність пружної технологічної системи до інтенсивних вібрацій. Це пояснюється перш за все великими значеннями нормальної складової P_p сили різання, зростання якої веде до збільшення амплітуди коливань. Великі значення сили P_p в порівнянні з тангенціальною складовою P_z пояснюються мало пластичністю і високими коефіцієнтами тертя титанових сплавів [4].

Природа автоколивань при різанні [3], які виникають, при раптовому зростанні і спаданні сил різання при врізанні і виході кожного зубця фрези із зони контакту, тобто при різкому перепаді впливу сил різання на пружну систему верстату. Ці вібрації характеризуються власною частотою, яка, як відомо, визначається жорсткістю пружної системи і її приведеною масою [3]. Коли зубець входить в оброблюваний матеріал підсистема інструменту «шпиндель – оправка – інструмент» деформується під дією сили різання, а після припинення дії сили різання підсистема буде вібрувати з її власною частотою. Якщо наступний (після першого) вплив зубця інструмента не відповідає власній частоті, то збільшується товщина стружки і зростає сила різання. Це в свою чергу, викликає більш відчутну деформацію системи, що веде до зростання амплітуди коливань. Сама невідгідна умова – зсув вібрацій від ріжучих кромки на фазовий кут $\varphi=180^\circ$ по відношенню до поверхневої хвилястості, отриманої раніше. Таким чином, автоколивання в зоні різання є результатом непередбачуваної взаємодії декількох факторів, наприклад, коли

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

вібрація від зубців запізнюється по фазі від попередніх слідів різання на $\varphi=180^\circ$, а потужність різання достатня, щоб подолати згасаючі коливань. При цьому підсистема інструменту вібрує зі своєю власною частотою, сили різання значно зростають, що негативно позначається на точності оброблення.

Сучасні інструментальні системи для гасіння вібрацій можуть бути пасивними, активними або поєднувати в собі обидва варіанти. Пасивна система контролює вібрацію завдяки застосуванню в конструкції особливих матеріалів, в той час як активна використовує особливий тип рухливих механізмів, існують пристрої які можуть поєднувати в собі два методи [2].

Конструкція інструменту з пасивним віброзахистом, для зменшення коливань при торцевому фрезеруванні (рис. 1):

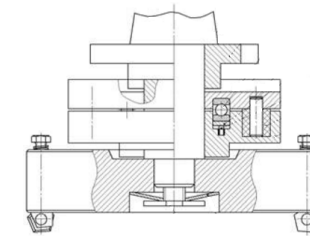


Рис. 1. Схема пасивного віброгасника

Якщо розглядати процес фрезерування (рис. 2), то очевидно, що кожен зубець фрези, здійснюючи коливання, залишає за собою хвилясту поверхню заготовки, і в результаті кожен наступний зубець зрізує шар заготовки змінної товщини, що в свою чергу призводить до осциляцій сили різання і появи регенеративних вібрацій [5].

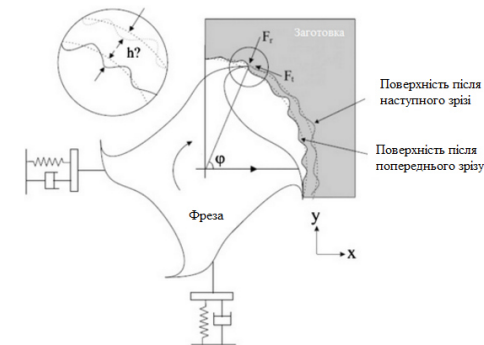


Рис. 2. Регенеративні вібрації при фрезеруванні

Регенеративні вібрації, як вид автоколивань, існують постійно і не згасають через змінні сили різання. Осилювати сили різання змушують змінні параметри, такі як товщина різання, кут зачеплення між фрезою і заготовкою, а також періодична поява наросту на різальній кромці, причому частота утворення і відколу наросту дорівнює частоті коливання сили різання.

На (рис. 3) видно, що на високих швидкостях можна забезпечити стійкість процесу оброблення при порівняно великій глибині різання. Варто відзначити, що діаграма стійкості унікальна для кожного поєднання елементів системи ТОС, а визначення межі стійкості вимагає як теоретичної, так і експериментальної підготовки, діаграму стійкості різання побудовано за даними досліджень [5].

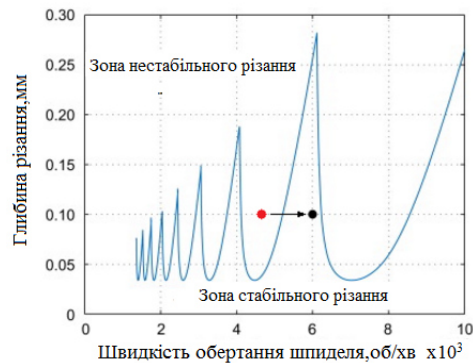


Рис. 3. Діаграма стійкості різання

Це можна віднести до пасивних методів запобігання вібраціям. Наявність вібрації визначається по слідах на обробленій поверхні і по звуку. Зелені – зони стійкого різання, червоні і оранжеві – зони нестійкого різання. Осьова глибина різання і подача на зубець – постійні. Дані приведені в таблиці 1.

Завдання активного віброзахисту – зменшення коливань об'єкта з масою M при кінематичному збуренні $\xi(t)$. Керуючий вплив $V(t)$ прикладений до проміжної маси m . Управління може бути здійснено (рис. 4) [1]:

1. Відповідно мас M і m . Тоді керуючий вплив здійснюється переміщенням маси M у напрямку Z_B за формулою (1):

$$B \cdot V = -k \cdot W(P) \cdot Z, \quad (6)$$

де k – коефіцієнт підсилення; $W(P)$ – передаточна функція ланцюга, що включає датчик і виконавчий пристрій або керуючий вплив.

Для маси m за формулою (2):

$$A \cdot V = -k \cdot W(P) \cdot Z, \quad (7)$$

2. За збуренням $\xi(t)$, де керуючий вплив за формулою (3):

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

$$V = -(\mu \cdot P + q) \cdot \xi(t) \quad \text{або} \quad V = W(P) \cdot \xi(t), \quad (8)$$

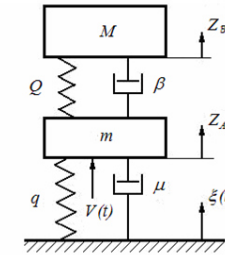


Рис. 4. Схема дії сил активного віброгасника

Таблиця 1 Результати зон стійкого різання

Швидкість обертання шпинделя, $n(\text{об/хв})$	Хвилина подача, $S_{xe}(\text{мм/хв})$	Подача на зубець, $S_z(\text{мм/зуб})$	Глибина різання, $h(\text{мм})$	Товщина зрізаного шару, $a(\text{мм})$						
				0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
6000	840	0.072	4	Зелений	Оранжевий	Оранжевий	Оранжевий	Оранжевий	Оранжевий	Червоний
6500	910	0.072	4	Зелений	Оранжевий	Оранжевий	Оранжевий	Оранжевий	Оранжевий	Червоний
7000	980	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
7500	1050	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
8000	1120	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
8500	1190	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
9000	1260	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
9500	1330	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
10000	1440	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
10500	1470	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
11000	1540	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний
11500	1610	0.072	4	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Зелений	Червоний

Результати можуть використовуватись при проектуванні операцій оброблення фрезеруванням титанових сплавів.

Список використаних джерел:

1. Ивович В.А., Онищенко В.Я. Защита от вибраций в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990.
2. Твердый сплав [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tverdysplav.ru>.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
4. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом [Текст] / И.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
5. Chatter Control For The Rest Of Us. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mmsonline.com/articles/>.

УДК 658.511:658.512.2

Тихонов І.В., наук. кер. Лашина Ю.В., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: tihonovigo260696@gmail.com

ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Цінність будь-якого продукту полягає в його здатності задовольняти потреби користувача, тобто виконувати необхідні функції з певними параметрами якості, а його конкурентоспроможність визначається вартістю створення цих функцій. Виявлення резервів скорочення витрат життєвого циклу при повному збереженні або покращенні функціональних характеристик виробу є невід'ємною задачею будь-якого прогресивного виробництва. Більшість виробів машинобудівної промисловості створюється на основі вдосконалення прототипів – попередніх моделей. Такий підхід є цілком обґрунтованим, оскільки він дозволяє використовувати накопичений роками позитивний досвід проектування та виробництва. З іншого боку, його застосування призводить до наявності у виробках достатньо великої кількості «застарілих» конструкторських рішень, в яких не враховані можливості використання сучасних матеріалів, технологічних процесів та обладнання. При цьому деякі деталі взагалі можуть виявитись зайвими, оскільки на певному етапі вдосконалення конструкції або процесу вони втратили своє функціональне призначення.

Метод аналізу та вдосконалення співвідношення між функціональним призначенням виробів та вартістю створення функцій отримав назву *функціонально-вартісний аналіз* (ФВА). Засновником цього методу в Радянському Союзі вважається інженер-конструктор Ю.М. Соболев, якому в 40-х роках ХХ ст. при вдосконаленні вузла кріплення мікротелефону за допомогою методу *поэлементного економічного аналізу* (ПЕА) вдалось зменшити собівартість вузла в 1,7 рази. При цьому кількість деталей було скорочено на 70%, витрати матеріалів – на 42%, а трудомісткість – на 69% [1]. Термін ФВА (рос. *ФСА – функционально-стоимостный анализ*) був впроваджений на початку 70х років ХХст. завідувачем лабораторії дослідження закордонного досвіду управління інституту «Інформелектро» Е.А. Грапом, який першим зробив огляд використання методу в промисловості західних країн, а також його теоретичні, методичні та організаційні аспекти [2].

Незалежно від Ю.М. Соболева приблизно в той самий час група спеціалістів компанії Джeneral електрик (англ. – *General Electric*) під керівництвом інженера Лоуренса Д. Майлса працювала над розробкою і впровадженням методу зменшення витрат виробництва на основі аналізу функцій виробів та пошуку більш економічних способів їх реалізації. За чотири роки в результаті вдосконалення конструкцій 230 виробів групі вдалось

скоротити витрати на виготовлення в середньому на 25%, що для компанії означало економію в \$10 млн. [1] В результаті Л. Майлсом була розроблена методика, яка отримала назву – *value analysis* [3]. Окрім методики *value analysis*, ФВА також включає методику *value engineering*, розглянемо особливості застосування цих двох методик.

Value Analysis (VA) – функціонально-вартісний аналіз продукту, що існує. При цьому метою аналізу може бути: зменшення собівартості виробу, покращення експлуатаційних характеристик, уникнення виробничих проблем за рахунок зміни конструкції виробу. Як правило поштовхом до проведення такого аналізу є зниження конкурентоспроможності виробу. Аналіз ефективності нових рішень, в даному випадку, базується на наявній інформації про існуючий продукт щодо умов виготовлення, виробничих втрат тощо [4].

Value Engineering (VE) – функціонально-вартісний аналіз нового продукту на ранніх стадіях проектування. В даному випадку інженерам доводиться працювати в умовах невизначеності, адже об'єми інформації, на основі яких можна приймати рішення, є невеликими [4].

Відповідно до стандарту Товариства американських інженерів-фахівців з ФВА [5] методика аналізу цінності (англ. – *Value Methodology*) включає шість етапів, а також додаткові підготовчі та завершальні дії (рис. 1). Всі ці етапи є «ручними» процедурами, які пов'язані з творчою діяльністю команди досвідчених фахівців. При сучасному рівні розвитку автоматизації життєвого циклу виробу неодмінно виникає питання щодо можливості поліпшення, прискорення та формалізації всього процесу ФВА, або хоча б деяких його етапів, за допомогою інформаційних технологій.

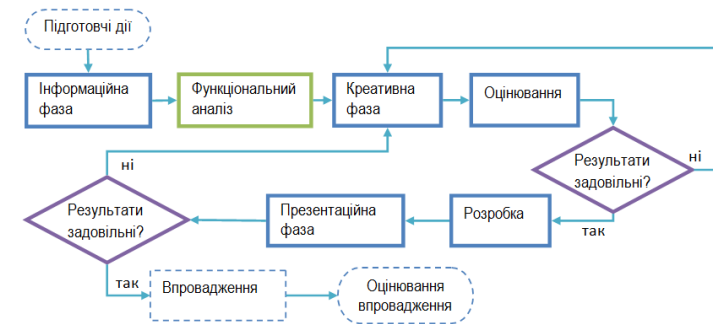


Рис. 1. Алгоритм ФВА за стандартом SAVE [5]

Розглянемо етап функціонального аналізу, оскільки він представляє найбільший інтерес з точки зору автоматизації. В методах VE/VA для представлення функції, як правило, використовується вираз «дієслово-іменник», в якому «дієслово» характеризує виконувану дію, а «іменник» -

об'єкт, над яким ця дія виконується. «Суб'єктом» такого виразу є елемент конструкції, який виконує дію. Наприклад, «шпонка (суб'єкт) передає (дія) крутний момент (об'єкт)».

На сьогоднішній день існує декілька способів представлення функціональної моделі виробу, найбільш відомими з них є: дерево функцій (англ. - *Function Tree*), діаграма функціонального потоку (англ. - *Functional flow diagram*) та структура функцій (англ. - *Function Structure*) [6].

Для представлення моделі виробу у виді *дерева функцій* використовуються два методи:

- метод «згори-вниз» – *Functional Analysis System Technique (FAST)*, в якому спочатку формулюються функції продукту, а потім розробляється їх конструктивна реалізація;
- метод «знизу-вгору» – *Subtract and Operate Procedure*, який передбачає наявність конструкції виробу та аналіз функціонального призначення кожної його деталі або її конструктивного елемента.

Загальним недоліком такої моделі є її непридатність для представлення мережі взаємопов'язаних функціональних відносин, присутніх в більшості систем [6].

Діаграма функціонального потоку [7] представляється у виді: блоків, які характеризують функції; стрілок, які визначають зв'язки між функціями та напрямком потоку функцій; операцій, які визначають взаємодію потоків. Серед операцій найбільш використовуваними є: OR (АБО) та AND (І). Твердження, представлене на рис. 2,б, необхідно читати так: функції В і С можуть починатись паралельно після завершення функції А, функція D може розпочатись лише після завершення функцій В і С. Твердження, представлене на рис. 2,в, являє «виключне або», необхідно читати так: після завершення функції А може розпочатись або функція В або С, функція D може розпочатись лише після завершення або функції В або функції С.



Рис. 2. Представлення взаємодії потоків функцій:

а) – операція AND; б) – операція OR

Представлення функціональної моделі виробу за допомогою *структури функцій* являє собою діаграму [8], в якій описуються потоки матеріалу, енергії та інформації у виді стрілок, що з'єднують функції продукту (рис. 3,а). Таке представлення дозволяє відслідковувати перетворення потоків всередині системи за допомогою її функцій (рис. 3,б).

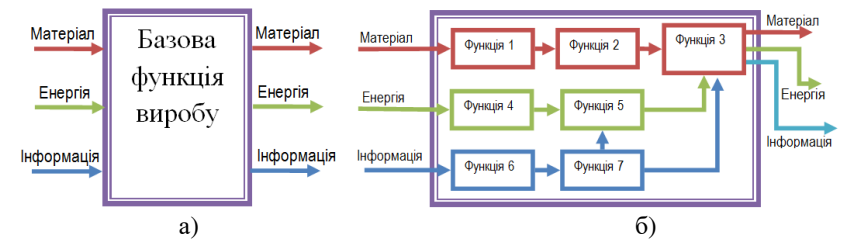


Рис. 3 – Представлення структури функцій:

а) – загальна модель; б) – перетворення матеріалу, енергії, інформації

Серед сильних сторін методу можна назвати підвищення визначеності завдання проектування завдяки представленню функціональних залежностей і відстеження вхідних і вихідних потоків матеріалів, енергії та інформації. Недоліками методу є складність його застосування в інженерній практиці, оскільки він потребує тривалого часу вивчення специфічних правил, а також ускладненість представлення взаємопов'язаних функціональних відносин [6].

Представлений огляд методів ФВА та VA/VE, їх взаємозв'язок та етапи реалізації. Найбільш цікавим з точки зору можливостей автоматизації підтримки прийняття рішень, є етап функціонального аналізу. Такий аналіз може використовуватись в поєднанні з іншими методами підвищення якості виробів машинобудування, такими як, наприклад, проектування, орієнтоване на виготовлення і складання (англ. *DFMA – Design for Manufacturing and Assembly*).

Список використаних джерел:

1. Кузьмина Е.А. Функционально-стоимостной анализ. Экскурс в историю / Е.А. Кузьмина, А.М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 7. – С. 14–20.
3. Miles L. How To Cut Costs With Value Analysis [Електронний ресурс] / Lawrence D. Miles // McGraw-Hill Publishins Co.. – 1949. – Режим доступу до ресурсу: <http://minds.wisconsin.edu/handle/1793/3948>.
4. Rich N. Value Analysis, Value Engineering [Електронний ресурс] / Nick Rich // Report produced for the EC funded project INNOREGIO. – 2000. – Режим доступу до ресурсу: http://www.adi.pt/docs/innoregio_value_analysis.pdf
5. SAVE International Value Standard, 2015 edition. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.value-eng.org/pdf_docs/monographs/vmstd.pdf
6. Aurisicchio M, Bracewell RH, The Function Analysis Diagram: intended benefits and co-existence with other functional models, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Special Issue on Functional Descriptions in Engineering, 2013, Vol:27, No.3.
7. Functional flow block diagram [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Functional_flow_block_diagram
8. Function Structure Diagram [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://npdbook.com/engineering-concepts/function-structure-diagram/>

УДК 621.767(075.8)

Ткач І.І., наук. кер. Кореньков В.М., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: ihortkachihorovich@gmail.com,
volodymyr.korenkov@gmail.com

СИНТЕЗ БАГАТОВАРІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій аналізу та синтезу систем підтримки прийняття рішень (СППР) для управління складними технологічними процесами в умовах апріорної невизначеності характеризується наділенням їх інтелектуальної складової для моделювання когнітивних процесів прийняття рішень, властивих людині [1-3]. Основною невирішеною проблемою методів інтелектуального аналізу даних в технології Data Mining [4] є забезпечення інваріантності алгоритмів прийняття рішень від довільних початкових умов. Одним з перспективних підходів до підвищення функціональної ефективності СППР для управління технологічними процесами є використання ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології), заснованої на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її навчання [5].

Автоматизація проектування маршрутних технологічних процесів є однією з складних і важко формалізованих завдань технологічної підготовки виробництва. Велике розмаїття конструктивних форм деталей і технічних вимог до них і можливість використання різних методів обробки одних і тих же елементів заготовки на різних видах технологічного обладнання призводить до багатоваріантності прийняття рішень. Вихідними даними для автоматизації проектування маршрутних ТП є інформаційна модель деталі.

Основним джерелом інформації про деталі є її креслення, представлений в графічному електронному вигляді. Інформаційна модель повинна включати загальні відомості про деталі, її характеристики, перелік елементів конструкції (поверхонь), складових деталей і значень їх параметрів. В даний час в САПР ТП використовуються різні за рівнем автоматизації методи проектування маршрутних ТП - від ручного, що використовує оперативний набір інформації на ПЕОМ із застосуванням різних баз даних технологічного призначення (всі рішення приймає технолог), до повністю автоматичного проектування. Серед цих методів найбільш часто використовуються три основних:

- 1) метод запозичення технології деталі-аналога (метод адресації).
- 2) метод проектування уніфікованих (типових і групових) ТП.
- 3) Метод синтезу ТП.

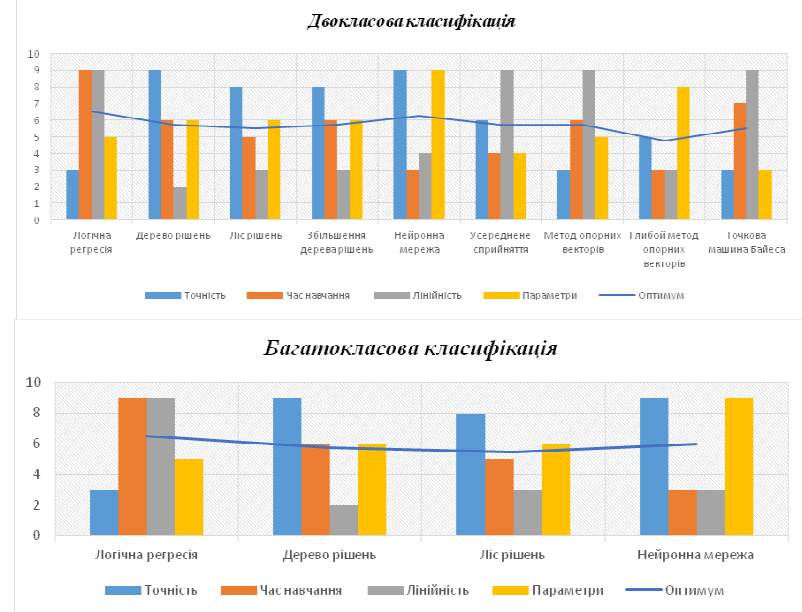
В даній роботі розглядається задача оцінки функціональної ефективності інформаційноекстремального навчання за допомогою різних методів та алгоритмів машинного навчання.

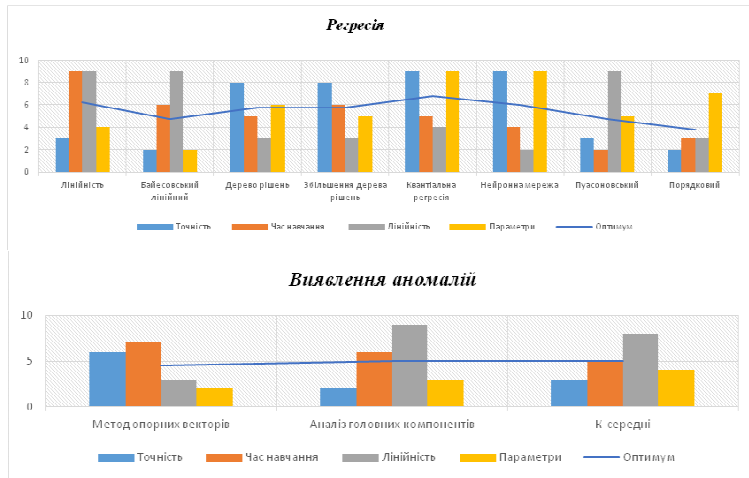
ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Машинне навчання (англ. Machine Learning) - великий підрозділ штучного інтелекту, що вивчає методи побудови алгоритмів, здатних навчатися. Розрізняють два типи навчання. Навчання по прецедентах, або індуктивне навчання, засноване на виявленні закономірностей в емпіричних даних. Дедуктивне навчання передбачає формалізацію знань експертів і їх перенесення в комп'ютер у вигляді бази знань. Дедуктивне навчання прийнято відносити до області експертних систем, тому терміни машинне навчання і навчання по прецедентах можна вважати синонімами.

Машинне навчання - не тільки математична, а й практична, інженерна дисципліна. Чиста теорія, як правило, не призводить відразу до методів і алгоритмів, які можуть застосовуватися на практиці. Щоб змусити їх добре працювати, доводиться винаходити додаткові евристичні, що компенсують невідповідність зроблених в теорії припущень умов реальних завдань. Практично жодне дослідження в машинному навчанні не обходиться без експерименту на модельних або реальних даних, що підтверджує практичну працездатність методу.

В даній роботі було проаналізовано більшість методів машинного навчання та алгоритмів і зроблено висновок в вигляді графіків, які в повному обсязі дає змогу обрати певний метод і алгоритм для тієї чи іншої проблеми.





Отримані дані з графіків дають змогу більш детально зробити огляд всіх методів і алгоритмів машинного навчання, що спрощує вибір методу для розробки програмного забезпечення, що в свою чергу буде аналізувати технологічні процеси, навчатися на прикладах, буде розробляти рекомендації для проектування ТП та в подальшому розробляти самостійно типові технологічні процеси для обробки деталей, що в свою чергу дозволить скоротити роботу інженера, виключить типові помилки на ранніх етапах та скоротить час розробки технологічного процесу, який знадобиться в подальшому для підвищення функціональної ефективності автоматизованої системи здатної самонавчатися керуючи технологічним процесом, що функціонує за умов апіорної невизначеності, обумовленої довільними початковими умовами та впливом неконтрольованих збурюючих факторів на технологічний процес.

Список використаних джерел:

1. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction. Springer Series in Statistics, 2009. 745 p.
2. Aivazyan S.A., Buchshtaber V.M., Enekov I.S., Meshalkina L.D. Prikladnaya statistika: Klassifikatsiya i snizhenie razmernosti [Applied Statistics: Classification and Dimension Reduction]. Moscow: Finance and Statistics Publ., 1989. 607 p. (in Russian).
3. Bendat J.S., Piersol A.G. Prikladnoy analiz sluchaynykh dannykh [Random Data: Analysis and Measurement Procedures]. Translated from English. Moscow: Mir Publ., 2010. 640 p.
4. Han J., Kamber M., Pei J. Data mining: concepts and techniques. Morgan Kaufmann, Elsevier, 2012. 744 p.
5. Krasnopoyasovsky A.S. Informatsionnyy sintez intellektual'nykh sistem upravleniya: Podkhod, osnovanny na metode funktsional'nostatisticheskikh ispytaniy [Information Synthesis of Intelligent Control Systems: An Approach Based on the Method of Functional Statistical Tests]. Sumy: Sumy State University Publ., 2004. 261 p. (In Ukrainian).

УДК 621.91.01

Тур І.М., наук. кер. Фролов В.К., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: ivantur2@gmail.com, v.k.frolov@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВКИ В ПРИЗМІ. ЗАГАЛЬНИЙ ВИПАДОК

При проектуванні технологічних процесів необхідно враховувати всі фактори, що впливають на точність виготовлення деталі. Суттєвою складовою сумарної похибки розміру є похибка базування, яка носить ймовірнісний характер, її максимальне значення можна визначити за допомогою алгебраїчного виразу.

На рис. 1 представлено схему базування заготовки в призмі для оброблення лиски, яка непаралельна площині стола верстата. Положення лиски може визначатись одним з трьох розмірів: H_1 , H_2 або H_3 .

Похибку базування для розмірів H_2 та H_3 можна розрахувати за формулами, наведеними в [1, с.141-142]. Там же наведено формулу для визначення похибки базування для розміру H_1 [1, с.139-140]. Аналіз формули показав, що вона не є істинною для всього можливого діапазону зміни кутів α та β (рис. 2). Так, при співвідношенні $\beta < \alpha/2$ похибка базування приймає від'ємне значення.

Метою даної роботи є визначення похибки базування заготовки в призмі за узагальненою формулою.

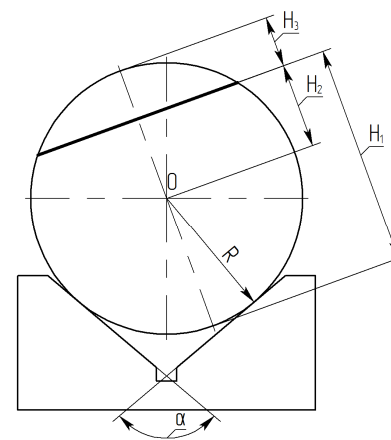


Рис. 1. Схема базування заготовки в призмі

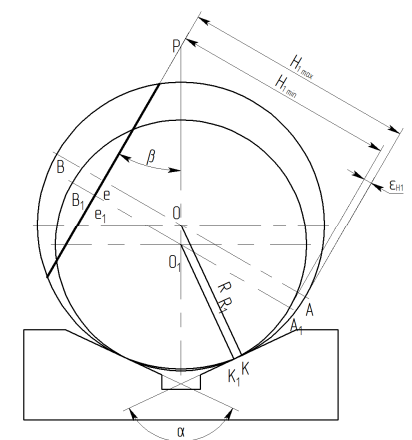


Рис. 2. Схема для визначення похибки базування в призмі

Похибка базування для розміру H_I складає:

$$\varepsilon_{H1} = H_{1\max} - H_{1\min}.$$

При $\beta < \alpha/2$: $H_{1\max} = Ae = AO + Oe$; $H_{1\min} = A_1e_1 = A_1O_1 + O_1e_1$;

$$\varepsilon_{H1} = AO - A_1O_1 + Oe - O_1e_1 = \Delta AO + \Delta Oe;$$

$$\Delta AO = \sin \beta \cdot OP - \sin \beta \cdot O_1P = \sin \beta \cdot OP - \sin \beta \cdot \left(OP + \frac{\delta}{2 \sin(\alpha/2)} \right) = -\frac{\delta \cdot \sin \beta}{2 \sin(\alpha/2)};$$

$$\Delta Oe = \frac{D}{2} - \frac{D - \delta}{2} = \frac{\delta}{2}.$$

$$\text{Звідки} \quad \varepsilon_{H1} = \frac{\delta}{2} - \frac{\delta \cdot \sin \beta}{2 \sin(\alpha/2)}. \quad (1)$$

При $\beta = \alpha/2$: $H_{1\max} = H_{1\min}$.

Звідки $\varepsilon_{H1} = H_{1\max} - H_{1\min} = 0. \quad (2)$

При $\beta > \alpha/2$: $H_{1\min} = Ae = AO + Oe$; $H_{1\max} = A_1e_1 = A_1O_1 + O_1e_1$;

$$\varepsilon_{H1} = A_1O_1 - AO + O_1e_1 - Oe = \Delta AO + \Delta Oe;$$

$$\Delta AO = \sin \beta \cdot O_1P - \sin \beta \cdot OP = \sin \beta \cdot \left(OP + \frac{\delta}{2 \sin(\alpha/2)} \right) - \sin \beta \cdot OP = \frac{\delta \cdot \sin \beta}{2 \sin(\alpha/2)};$$

$$\Delta Oe = \frac{D - \delta}{2} - \frac{D}{2} = -\frac{\delta}{2}.$$

$$\text{Звідки} \quad \varepsilon_{H1} = \frac{\delta \cdot \sin \beta}{2 \sin(\alpha/2)} - \frac{\delta}{2}. \quad (3)$$

Вирази (1), (2) та (3) можна об'єднати в узагальнену формулу:

$$\varepsilon_{H1} = \frac{\delta}{2} \left| \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right|. \quad (4)$$

Схеми окремих випадків базування наведено на рис. 3.

При $\beta = 0^\circ$ (рис. 3, а):

$$\varepsilon_{H1} = \frac{\delta}{2} \left| \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right| = \frac{\delta}{2} \left| \frac{0}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right| = \frac{\delta}{2} |-1| = \frac{\delta}{2}.$$

При $\beta = 90^\circ$ (рис. 3, б):

$$\varepsilon_{H1} = \frac{\delta}{2} \left| \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right| = \frac{\delta}{2} \left| \frac{1}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right|.$$

При $\alpha = 180^\circ$ (рис. 3, в):

$$\varepsilon_{H1} = \frac{\delta}{2} \left| \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right| = \frac{\delta}{2} \left| \frac{\sin \beta}{1} - 1 \right| = \frac{\delta}{2} |\sin \beta - 1|.$$

При $\beta = \alpha/2$ (рис. 3, г):

$$\varepsilon_{H1} = \frac{\delta}{2} \left| \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right| = \frac{\delta}{2} \left| \frac{1}{1} - 1 \right| = 0.$$

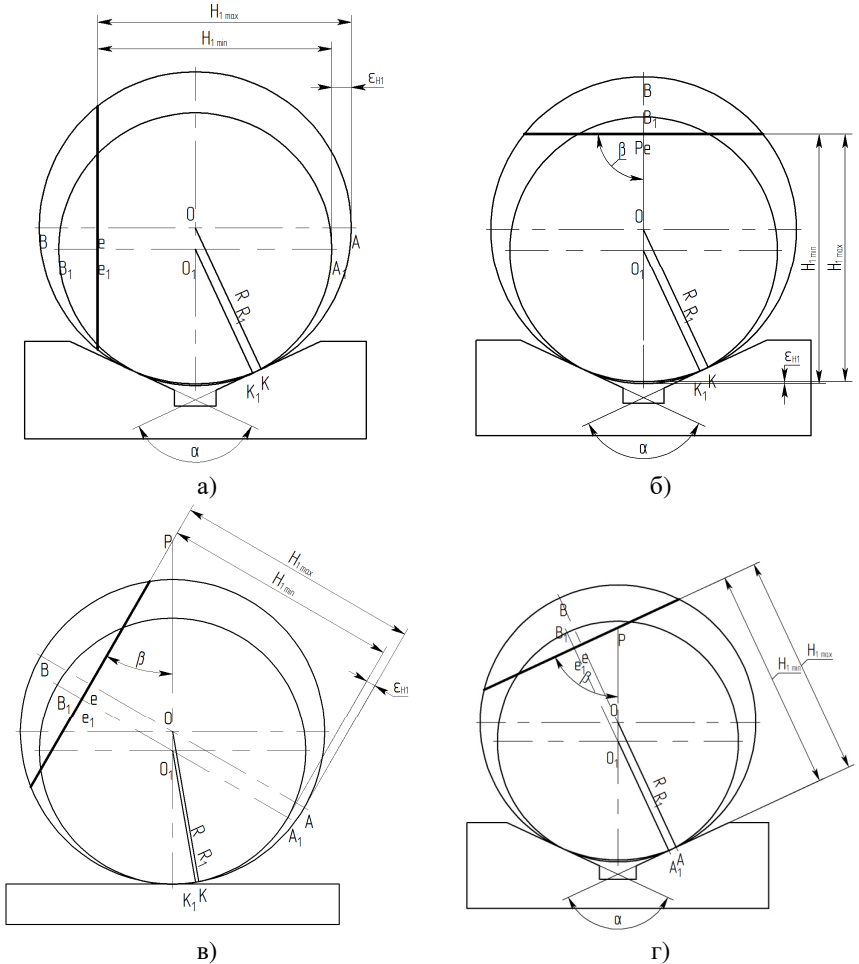


Рис. 3. Схеми для визначення похибки базування в окремих випадках (а – $\beta = 0^\circ$; б – $\beta = 90^\circ$; в – $\alpha = 180^\circ$; г – $\beta = \alpha/2$)

Таким чином, похибку базування заготовки в призмі для розміру H_I можна розрахувати за допомогою узагальненої формули (4).

Список використаних джерел:

1. Корсаков В.С. Точность механической обработки: производственное издание / В. С. Корсаков. - М.: Машгиз, 1961. - 380 с.: ил.

УДК 621.924.9.

Чернюшок В.Ю., *наук. кер. Малафеев Ю.М., к.т.н., доц.*
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: m.y.malaf@gmail.com

ГІДРОАБРАЗИВНЕ РІЗАННЯ МЕТАЛУ

В основі технології гідроабразивного різання покладений принцип ерозійного (стирального) впливу абразиву і водяного струменя. Їх високошвидкісні твердофазні частинки (перевищення швидкості звуку в 3-4 рази) виступають в якості переносників енергії і, б'ючись об частки виробу, відривають і видаляють останні з порожнини різі. Швидкість ерозії залежить від кінетичної енергії частинок, їх маси, твердості, форми і кута удару, а також від механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Насос високого тиску подає струмінь води під тиском 4130 атм. в різальну головку верстата, яка самоналагоджується (рис. 1), і керується системою ЧПУ.

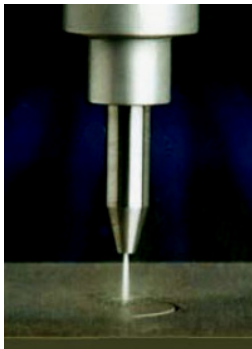


Рис. 1. Ріжуча головка установки гідроабразивного різання

Вода, проходячи через мірний отвір (0,08-0,5 мм) зі швидкістю 1200 м/сек. и вище, переміщується з абразивними частинками, викидається через фокусуючу трубку і здатна вирізати будь-які форми з будь-яких матеріалів товщиною до 300 мм. При гідроабразивному різанні руйнівна здатність струменя створюється в значно більшій мірі за рахунок абразиву, а вода виконує переважно транспортну функцію. Розмір абразивних частинок підбирається рівним 10-30% діаметра ріжучого струменя для забезпечення її ефективного впливу і стабільного витікання. Зазвичай розмір зерен становить 0,15-0,25 мм (150-250 мкм), а в ряді випадків - близько 0,075-0,1 мм (75-100

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

мкм), якщо необхідно отримання поверхні різі з низькою шорсткістю [1, 2, 4, 5].

Різальна головка встановлюється на пристрої позиціонування координатного столу (рис. 2) і може переміщатися за допомогою електроприводів по трьох координатах з робочими рухами, зумовленими габаритами координатного столу. Вона дозволяє отримувати деталі різних форм, вигинів, найскладніших контурів.

Ріжуча головка може повертатися під кутом 60 градусів в двох площинах, це дозволяє обробляти фаски, криволінійні поверхні. При розрізі складних форм верстат працює в 5 координатах.

Процес різання повністю автоматизований, програмне керування дозволяє зробити більш точну обробку матеріалу без безпосередньої участі людини, що попереджає можливість похибок і деформацій [4, 6].

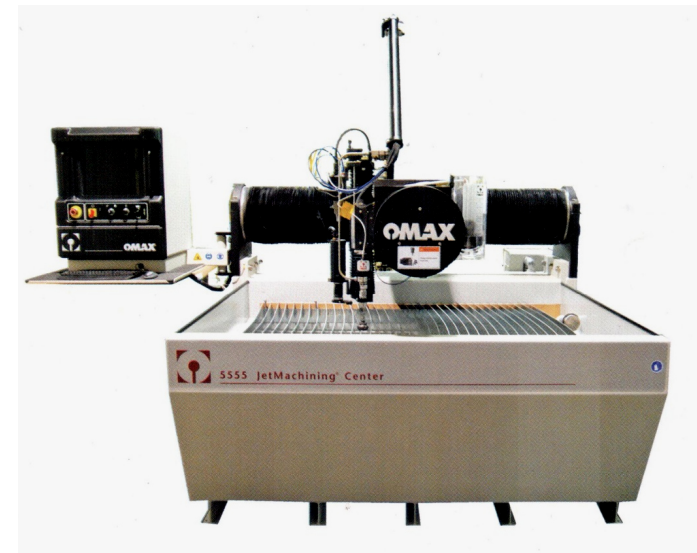


Рис. 2. Установка гідроабразивного різання

За допомогою гідроабразивного струменя можна різати практично будь-які матеріали:

- чорні і кольорові метали (сталь, мідь, бронза, алюміній, нікель, магній, титан та їх сплави);
- важкооброблюємі леговані сталі і сплави (у тому числі: жароміцні і нержавіючі);
- композиційні матеріали і т. ін.

Цю технологію часто порівнюють з лазерним і плазмовим способом різання металу. Але в даному випадку прямої конкуренції не існує. Промінь лазера ріже тонку сталь набагато швидше, але машина гідроабразивного різання оснащується декількома різальними головками, і в поєднанні з холодним характером різання і повною відсутністю термічного і механічного впливу на зону різання дає унікальні можливості при фасонному різанні матеріалу.

Гідроабразивний струмінь не змінює фізико-механічні властивості матеріалу і виключає деформацію, оплавлення і пригорання матеріалу.

Перевагами технології гідроабразивного різання є [1, 4, 5]:

- використання однієї і тієї ж установки для різання широкого спектру самих різних твердих матеріалів, (чорні і кольорові метали і сплави, високоміцні леговані жароміцні, нержавіючі сталі) з товщиною розрізуваних матеріалів від 0,1 до 300 мм;
- утворюване в процесі різання тепло практично відразу відноситься водою (низька температура в зоні різу 60-90° С);
- при використанні гідроабразивної технології виключається оплавлення і пригорання матеріалу в прилеглій зоні;
- виключається вигорання легуючих елементів у легованих сталях і сплавах;
- виключається поява розривів у структурі матеріалу і погіршення первинних властивостей матеріалу;
- виключається температурна деформація заготовки;
- виключається необхідність додаткової механічної обробки поверхні різу заготовки, внаслідок чого підвищується продуктивність;
- завдяки високій точності обробки зменшується собівартість виготовлення деталей;
- при гідроабразивній обробці можна відтворювати контури будь-якої складності з високою точністю, тому що струмінь рідини за своїми технічними можливостями наближається до ідеального точкового інструменту;
- можливе отримання фінішної поверхні з шорсткістю Ra 1,5-2,5 мкм при відповідному підборі технологічних параметрів установки і швидкості різу, що дозволяє застосовувати технологію гідроабразивного різання не тільки при виготовленні заготовок, але і для чистового різання деталей;
- висока продуктивність гідроабразивного різання при обробці труднооброблюваних матеріалів;
- скорочення кількості або повне виключення супутніх технологічних операцій (попереднє свердління отворів, зміна або переналагодження ріжучого інструменту, подальша механічна обробка деталі);
- економія часу на механічне закріплення заготовки на координатному столі;
- зменшення часу холостого руху різальної головки, внаслідок можливості різання тонколистових матеріалів в багатошаровому пакеті;

- екологічна чистота і повна відсутність шкідливих газовиділень завдяки низькій температурі в зоні різу;
- значно скорочуються втрати матеріалу при різанні за рахунок малої ширини різу і зменшення припусків на додаткову механічну обробку;
- повна пожежо- і вибухобезпечність, що дозволяє здійснювати різання навіть вибухових речовин, наприклад, при утилізації боеприпасів;
- Недоліки технології гідроабразивного різання [1, 4, 5]:
- недостатньо висока швидкість різу тонколистової сталі;
- висока вартість обладнання і високі експлуатаційні витрати, зумовлені витратою абразиву, електроенергії, води, замінами змішувальних трубок, водяних сопел і ущільнювачів, що витримують високий тиск, а також витратами по утилізації відходів;
- обмежений ресурс окремих комплектуючих і ріжучої головки;
- неможливість повторного використання абразивного матеріалу;
- підвищений шум через витікання струменя з надзвуковою швидкістю.

На підставі виложеного можна зробити наступні висновки:

- гідроабразивне різання є не тільки альтернативою механічної, лазерної, ультразвукової та плазмової обробки, але і в деяких випадках (різка багатошарових, стільникових і композиційних матеріалів, кераміки) єдино можливим;
- обробка особливо ефективна при різанні багатьох важкооброблюваних матеріалів: титанових сплавів, різних видів високоміцних керамік і сталей, а також композитних матеріалів;
- при обробці таких матеріалів гідроабразивним різанням не створюються розриви в структурі матеріалу, зберігаються його початкові властивості;
- отримання фінішної поверхні з високою точністю та шорсткістю в діапазоні Ra 1,5...2,5 мкм дозволяє застосовувати цю технологію для чистового різання деталей без подальшої механічної обробки;
- значне зменшення витрат матеріалу (мала ширина різу) та припусків на обробку підвищує продуктивність, зменшує собівартість виготовлення деталей.

Список використаних джерел:

1. Бреннер В.А., Жабін А.Б., Пушкарєв А.Е., Щеголевський М.М. Гидроструйные технологии в промышленности. Гидроабразивное резание // М.: Изд. Московского государственного горного университета, 2003. 279 с.
2. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок / підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с.
3. Іващенко, А.А. Технологія гідроабразивної різки / А.А. Іващенко // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2002. № 8.1. С.20-21
4. Полянский, С.Н. Технология и оборудование гидроабразивной резки / С.Н. Полянский, А.С. Нестеров // Вестник машиностроения: 2004. -№5.- С. 43-46.
5. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. / А.Е. Проволоцкий. Киев: Техника, 1989. 279 с.
6. Гидроабразивная резка материалов. [Электронный ресурс] - <http://aramis.com.ua/hydroabrasive.html>, дата доступа 24.03 2016.

УДК 621.941.519.6

Штефан І.М., Тур І.М., наук.кер. Мельник О.О., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: o.o.melnik@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ОСЬОВИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ

В сучасному світі одним з головних факторів економічного зростання промислово розвинутих країн є розвиток інформаційних технологій, особливо в галузі забезпечення підтримки життєвого циклу продукції.

Для інформаційної інтеграції процесів, які супроводжують життєвий цикл продукції, розроблено концепцію – CALS, яка реалізована у вигляді відповідних CALS-технологій (*Continuous Acquisition and Life cycle Support* – неперервна інформаційна підтримка життєвого циклу виробу), які забезпечують комп'ютерне супроводження всіх етапів життєвого циклу виробу – конструювання, виготовлення та експлуатації, гарантійного та післягарантійного обслуговування, ремонту, утилізації виробу.

Вузькими місцями реалізації концепції CALS-технологій є низький рівень інформаційного забезпечення технологічної підготовки виробництва, особливо в галузі проектування технологічних процесів оброблення та впровадження САПР ТП.

Технологічна підготовка будь якого виробництва передбачає: науково дослідні розробки, конструкторські підготовки виробництва, технологічну підготовку виробництва та системи управління процесами оброблення.

Максимальну трудомісткість на етапі технологічної підготовки виробництва складає процес проектування технологічних процесів механічного оброблення.

Проектування технологічних операцій оброблення різанням потребує обґрунтованого вибору металорізального верстату для її реалізації. Якщо в реальних умовах виробництва є в наявності декілька верстатів, які можуть забезпечити операцію оброблення, необхідно певні критерії для обґрунтованого вибору. Розрахункові алгоритми вибору технологічних переходів оброблення певної поверхні та визначення режимів різання передбачають урахування технічних характеристик верстату, в першу чергу, потужності двигуна головного приводу верстата N_d та найбільшої сили, що допускається механізмом подачі $[P]_{\text{мп}}$.

Складність реалізації алгоритму поставленого технологічного завдання визначається багатоваріантністю вибору початкових умов, а саме: вибір групи та марки інструментального матеріалу; вибір конструкції різального інструменту, геометричних параметрів різальної частини тощо. Для узгодженого вирішення такої системи технологічних завдань доцільно

визначати початкові умови, що складають середні або граничні значення параметрів процесу оброблення. За початковими граничними умовами необхідно розрахувати найбільшу силу подачі, потужність різання, максимальну частоту обертання шпинделя. Граничні значення параметрів процесу оброблення є важливими для обґрунтованого вибору металорізального верстату. Остаточний вибір верстату необхідно здійснювати з урахуванням загального завантаження верстату в реальних умовах виробництва всіма технологічними операціями, які на ньому виконуються.

В результаті попередніх досліджень ТП оброблення корпусних деталей [1] значний відсоток з усіх технологічних переходів складає оброблення осьовим інструментом, а саме оброблення отворів. Тому забезпечення мінімального часу на проектування технологічних переходів оброблення отворів є пріоритетним напрямком для створення формалізованого підходу та відповідного програмного забезпечення.

Враховуючи високу вартість оброблення та долю вартості виробів, найбільш важливим етапом технологічного підготовки виробництва є обґрунтування оптимальних умов роботи, тому в задачах оптимізації процесу оброблення головним критерієм є продуктивність оброблення.

Повний алгоритм [1] проектування технологічних переходів для оброблення осьовими інструментами та розрахунку режимів оброблення реалізовано в програмному продукті рис. 1, який не тільки забезпечує автоматизацію визначення режиму різання для заданих умов оброблення, але й пропонує варіант технологічних переходів [2, 3].

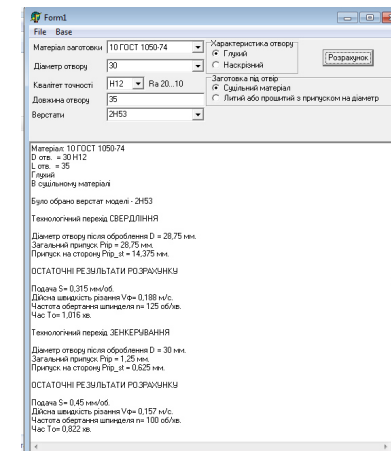


Рис. 1. Робоче вікно програмного засобу для проектування технологічних переходів для оброблення осьовими інструментами

За критерій оптимізації чорнових етапів оброблення приймають умовну продуктивність, яка визначається за формулою.

$$P = 1/T_o \rightarrow \max.$$

Максимальна величина продуктивності досягається за умовою:

$$T_o \rightarrow \min.$$

Отримаємо таку залежність для критеріїв оптимізації:

$$h \rightarrow \max,$$

$$S_o \rightarrow \max,$$

$$V \rightarrow \max.$$

Виходячи з поставленої задачі, для її розв'язання необхідно розрахувати швидкість різання, яка допускається різальними властивостями свердла $[V]_i$ (1) та швидкості різання, яка допускається потужністю двигуна головного приводу верстата $[V]_B$ (2).

$$[V]_i = \frac{C_v \cdot K_v \cdot D^{zv}}{60 \cdot T^m \cdot h^{zv} \cdot S^{yv}} \quad (1);$$

$$[V]_B = \frac{\eta N_{об}}{20 C_m \cdot D^{zm-1} \cdot S^{ym} \cdot h^{zm} \cdot K_m} \quad (2);$$

З двох швидкостей вибираємо мінімальну (3).

$$[V] = \min\{[V]_i, [V]_B\} \quad (3);$$

Крім того в створеному програмному продукті закладено алгоритм оптимізації осьової подачі S_o , у відповідності до обраної стратегії технологічного оброблення та запропонованих технологічних переходів.

Згідно алгоритму необхідно вибрати мінімально допустиму подачу (4) при визначенні наступних подач:

$[S]_{MC}$ – подача, яка допускається міцністю стержня свердла;

$[S]_{PK}$ – подача, яка допускається міцністю різальних кромок;

$[S]_{TO}$ – подача, яка допускається точністю оброблення;

$[S]_{MP}$ – подача, яка допускається міцністю механізму подач.

$$[S] = \min \{ [S]_{MC}; [S]_{PK}; [S]_{TO}; [S]_{MP} \} \quad (4);$$

Таким чином вдається врахувати всі особливості процесу оброблення при виборі робочих параметрів осьової подачі з подальшим врахуванням критерію оптимізації.

В результаті виконання роботи отримано програмне забезпечення для підбору стратегії оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь осьовим інструментом та розрахунку оптимальних режимів різання у відповідності з зазначеними критеріями.

Список використаних джерел:

1. Теорія різання. Методичні вказівки для практичних занять та самостійної роботи студентів напряму підготовки бакалаврів-Інженерів механіки усіх форм навчання / Укл. В.Г.Біланенко, О.О.Мельник, В.М. Кореньков; м.Київ: НТУУ "КПІ", 2008-112с.
2. В.Г Біланенко, О.О. Мельник /Формалізація розрахунку режимів різання для оброблення осьовими інструментами, Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямком «Інженерна механіка»), Випуск 20 -Луцьк. 2007р.-С. 25-29.
3. http://www.rusnauka.com/28_PRNT_2009/Tecnic/53365.doc.htm

УДК 621.923

Шуплєцов Д.К., наук. кер. Петраков Ю.В. д.т.н проф. зав. каф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: koshiric@gmail.com, yp-86@yandex.ru,

УПРАВЛІННЯ ТРАЄКТОРІЄЮ ФРЕЗЕРУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Вступ. Процес різання завжди відбувається в пружній технологічній оброблючій системі (ТОС), є замкненим і квазістаціонарним. Замкненість процесу різання в ТОС пояснюється наявністю впливу деформації, викликаной силою різання, на параметри шару припуску, який зрізується, що, в свою чергу, провокує зміну сили різання і так далі. Квазістаціонарність обумовлюється постійними змінами головних збурень, що діють на процес, зміною жорсткості ТОС при переміщенні вузлів верстату за формоутворюючою траєкторією тощо.

Мета роботи. Розробити спосіб корекції формоутворюючої траєкторії при контурному фрезеруванні та відповідну методику, втілену у програмному забезпеченні, яке спроможне в автоматичному режимі виконати розрахунки скорегованої формоутворюючої траєкторії на останньому проході за результатами вимірів поверхні на попередньому проході.

Основна частина. Головна гіпотеза роботи полягає у тому, що в геометричних параметрах форми деталі, що була оброблена в деякій ТОС міститься вся необхідна інформація для розрахунку характеристик тієї ТОС, необхідних для проектування скорегованої траєкторії. Таким чином пропонується виконувати корекцію на підставі апостеріорної інформації [1]. Відомо, що управління за апостеріорною інформацією здатне ураховувати похибки, що виникли при обробленні попередньої деталі в процесі оброблення наступної за структурною схемою, що представлена на рис.1, тобто з запізненням на один цикл.

На структурній схемі за рис. 1 ТОС представлена замкненою з передатними функціями W_{enc} – еквівалентна пружна система, W_{np} – процес різання, крім того: P – сила різання, H_z , H_ϕ – задана і фактична глибина різання, δ – пружна деформація, а запізнення відображається передатною функцією $be^{-s\tau}$, де b – коефіцієнт корекції, τ – час циклу обробки і вимірювання однієї деталі, s – оператор Лапласа [3].

Такий метод управління може виконуватись як в режимі «ручного» управління, так і в автоматичному режимі. Останнє передбачає створення комплексу, який автоматично вимірює оброблену деталь, розраховує і передає інформацію на верстат з ЧПК у вигляді скорегованої програми.

Отже, при використанні такого методу необхідне обладнання з відповідним програмним забезпеченням. Фірма Delsam розробила модуль PowerINSPECT OMV для контролю на верстаті з ЧПК, який оснащений

вимірювальною головкою [2]. Технологія OMV особливо ефективна для великогабаритних деталей, установка яких на верстаті займає багато часу. Для таких виробів верстат навіть може замінити контрольно-вимірювальну машину (КВМ), дозволяючи виконати фінішний контроль, оскільки КІМ з великою робочою зоною є надзвичайно коштовним обладнанням.

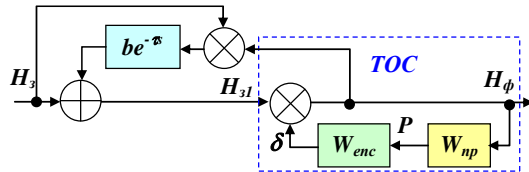


Рис. 1. Схема управління за апостеріорною інформацією

Для проведення попередніх експериментів з реалізації запропонованого методу була розроблена прикладна програма «Моделювання зрізування припуску при контурному фрезеруванні», інтерфейс якої в стані моделювання зрізування припуску на другому проході з корекцією представлений на рис. 3 [3]. Зліва інтерфейсу розташовані вікна для завдання вихідних параметрів процесу фрезерування та ТОС, справа – вікно анімації процесу моделювання, знизу – віртуальний осцилограф для відображення зміни характеристик процесу у часі, прив'язаному до довжини еквідистанти, під осцилографом – розташоване вікно для вибору матеріалу заготовки та кнопки управління.

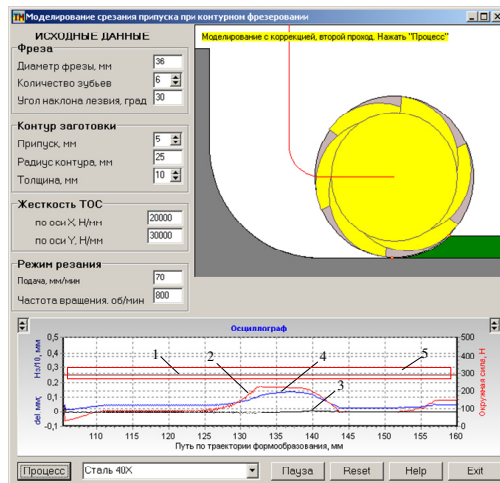


Рис. 3. Інтерфейс програми в кінці моделювання з корекцією траєкторії

При використанні програмного продукту виконується моделювання процесу різання на двох проходах. Після моделювання процесу обробки на першому проході, отриманий профіль поверхні деталі вимірюється щупом з заданим кроком (завдання кроку відбувається перед виконанням промірів), після чого відбувається моделювання обробки на другому проході без корекції траєкторії. За отриманими даними про оброблення на другому проході, розраховується корекція траєкторії фрезерування та виконується моделювання.

На осцилографі представлені характеристики (лінія 1 – глибина різання, лінія 2 – окружна складова сили різання, лінія 3 – похибка ТОС від пружних деформацій).

Для порівняння на осцилографі збережена похибка ТОС від пружних деформацій, що спостерігалася при моделюванні другого проходу без корекції формуютьуючої траєкторії – лінія 4, лінія 5 – показує реальну зміну заданої глибини різання а відповідно при збільшенні поділяється на 2 лінії (рис. 4). Отже за корекції спостерігається суттєве зниження (приблизно у 20 разів) похибки, яка була викликана пружними деформаціями ТОС. На рис.4 лінія 1 показує задану глибину різання на першому проході, а лінія 2- задану глибину різання на другому проході з корекцією траєкторії.



Рис. 4. Збільшений фрагмент 5 осцилограми за рис. 3

Висновок. Запропонований метод проектування скорегованої траєкторії формоутворення передбачає розбиття припуску на два проходи, вимірювання обробленого на першому проході контуру, моделювання оброблення на другому проході в процесі якого автоматично проектується скорегована траєкторія формоутворення на другому проході. Дані формуються у вигляді управляючої програми в G-кодах і передаються на верстат.

Список літератури

- Петраков Ю.В., Драчев О.И. Автоматическое управление процессами резания / ТНТ, 2014, 408с.
- Adaptive Control & Monitoring (ACM) / <http://www.omative.com/ACM.html>
- Петраков Ю.В., Шуплецов Д.К. Корекція траєкторій формоутворення за апостеріорною інформацією / Вісник ЖДТУ, серія Технічні науки, №1 (72), 2015, с.37-40.

УДК 62-503.5:621.923.02

Юрчук А.А., наук. кер. Петраков Ю.В., д.т.н., проф..

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: yp-86@yandex.ru**ШЛІФУВАННЯ ВИРУБНИХ ШТАМПІВ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК**

Вирубний штамп – це прес-штамп для пробивання отворів різної форми, за рахунок силового впливу на пуансон або ж матрицю. Виготовлення вирубних штампів зводиться до проектування його конструктивних елементів згідно з вимогами до одержуваному виробу (операції) і до безпосереднього його виготовлення з обов'язковою термообробкою.

Для якісного виготовлення штампів необхідно вибрати потрібний матеріал і вид термічної обробки. Робочі деталі штампів (матриці і пуансона) виготовляють з сталей У8А, Х12М, ХВГ та ін. Напрямні частини (втулки, колонки та ін.) – зі сталей 20Х і 20 з подальшою цементацією.

Твердість після термообробки робочих частин штампів не зобов'язана бути однаковою по всій довжині, а повинна розподілитися приблизно так: гранична твердість у матриць – на глибині не менше половини її висоти і на відстані не менше 5 мм по робочому контуру; інша частина може мати твердість за шкалою HRC на 5 - 12 одиниць нижче; у пуансона – по всій висоті, виключаючи хвостову частину під розкленку або головку.

Основні технічні вимоги до штампів [1]:

- Строга паралельність вертикальних поверхонь пуансона з внутрішніми поверхнями матриці, перпендикулярність всіх вирубних і пробивних пуансонів до поверхні матриці.
- Рівномірність зазору між пуансоном і матрицею по всьому контуру і його відповідність вимогам креслення.
- Строга паралельність плит і блоку і перпендикулярність розташування до них осей напрямних колонок і втулок. Переміщення верхньої частини блоку щодо нижньої без відчутного зазору.
- Симетричне розташування хвостовика відносно напрямних колонок і строга перпендикулярність його осі до верхньої площини плити блоку.
- Затяжку до відмови всіх кріпильних гвинтів і глуха посадка штифтів.

Після термічної обробки вирубного штампу виконується операція шліфування робочих поверхонь. Врізне некругле шліфування виконується за схемою, що представлена на рис. 1. Заготовка 1 встановлена в трикулачковому патроні шліфувального верстату і їй передається рух обертання з частотою n_3 . Заготовка шліфується по периферії шліфувальним кругом 2, що обертається з частотою n_k і якому передається рух поперечної врізної подачі S_ϕ і формоутворюючий рух зі швидкістю S_ϕ . [4]

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Рис. 1. Схема врізного некруглого шліфування.

Відомо, що процес шліфування визначається головною його характеристикою – швидкістю зрізування припуску [2], яка залежить від її геометричного аналога. Визначення аналога швидкості зрізування припуску можна провести з аналізу схеми формоутворення.

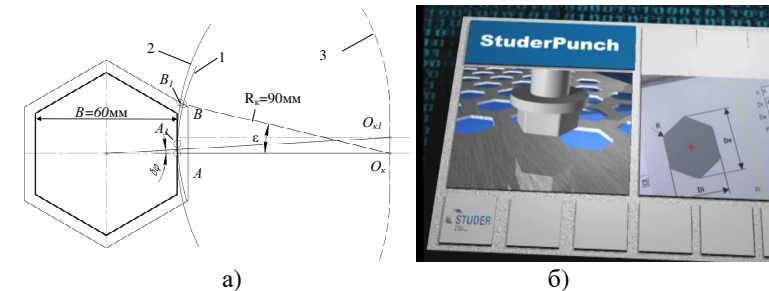


Рис. 2. Схема формоутворення 2-D поверхні вирубного штамп (а), інтерфейс САМ-системи фірми Studer (б)

На схемі (рис. 2,а) зображено два положення периферії шліфувального круга (лінія 1) при формоутворенні контуру деталі (лінія 2), що відрізняється переміщенням ($\delta\phi$) за еквідистантою (лінія 3). Зі схеми видно, що швидкість зрізування припуску можна оцінювати її аналогом:

$$Q = \lim_{\delta\phi \rightarrow \infty} \frac{\delta F}{\delta\phi}, \quad (1)$$

де δF – площа фігури AA_1BB_1 , що визначає переріз шару, який зрізається при елементарному переміщенні кута еквідистантою.

Швидкість зрізування припуску знаходиться за формулою:

$$Q_v = QV_s B, \quad (2)$$

де V_s – швидкість руху за кутовою координатою заготовки, B – ширина шліфування. Оскільки товщина шару, що зрізується, значно менша за діаметр круга, а також урахувавши, що $\delta\varphi \rightarrow 0$, з великою степеню точності площу перетину, який зрізується, можна замінити площею трикутника зі сторонами:

$$AB = L_k \text{ і } AB_1 = L_k + \delta L_k + S\delta\varphi r_c,$$

де L_k – довжина лінії контакту шліфувального круга і заготовки, δL_k – прирощення довжини лінії контакту, S – контурна подача, r_c – середній полярний радіус контуру деталі на ділянці AA_1 .

З геометричних співвідношень схеми випливає, що кут між сторонами цього трикутника дорівнює $\delta\varphi$, а площа:

$$\delta F = 0,5L(L_k + \delta L_k + S\delta\varphi r_c) \sin \delta\varphi.$$

Тепер із залежності (1) з урахуванням, що при $\delta\varphi \rightarrow 0, \sin \delta\varphi \approx \delta\varphi$, отримуємо, відкидаючи члени вищого порядку малості:

Попередньо головна характеристика була визначена за допомогою CAD системи «Компас 3-D». За попередніми даними, з використанням пакету Excel, побудований графік відповідної залежності, що представлений на рис. 3.

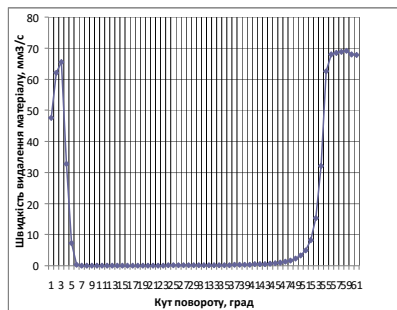


Рис. 3. Графік залежності головної характеристики від кута повороту.

Для стабілізації процесу шліфування вирубних штампів за допомогою верстатів з ЧПК необхідно управляти поперечною подачею за кутом обертання для стабілізації головної характеристики процесу.

Список використаних джерел:

1. <http://www.tk-runo.org/shtamp-naznachenie-i-konstrukciya.html>
2. https://www.google.com.ua/VKPI_mash_2013_2_10-1
3. http://rada.kpi.ua/files/aref_Pusarenko
4. Програмне забезпечення фірми Studer / BA 0091 216 B/05/Russian, www.studer.com, 334p.
5. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання: Навчальний посібник для студентів, що навчаються за напрямом «Інженерна механіка». – Київ: Політехніка, 2006. – с.190

УДК 62-503.5:621.923.02

Юрчук Ю.А., наук. кер. Петраков Ю.В., д.т.н., проф..

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: yp-86@yandex.ru

ШЛІФУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЗІРОЧКИ ДИФЕРЕНЦІАЛА НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

Самоблокуючий диференціал підвищеного тертя використовується у мостах бронетранспортерів і вантажних автомобілів підвищеної прохідності.

Диференціал моста автомобіля ГАЗ-66 (рис. 1) складається з двох чашок 2 і 5, які спираються на роликові конічні підшипники, змонтовані в картері ведучого моста. До правої чашки прикріплене зубчасте колесо 3, до лівої – сепаратор, в якому просвердлені два ряди радіальних отворів, розташованих в шаховому порядку по 12 в кожному ряду. В отвори встановлені сухарі 6 виготовлені з легованої сталі, термічно оброблені і мають високу твердість. Сухарі можуть переміщатися і стикатися з внутрішньою (малою) 1 і зовнішньою (великою) 4 зірочками, встановленими між чашками 2 і 5. Від випадання і провертання сухарі утримують стопорні кільця. На внутрішній поверхні зірочки рівномірно розташовані шість виступів (кулачків), а на зовнішній поверхні внутрішньої 1 зірочки є два ряди кулачків, розташованих у шаховому порядку по шість кулачків в кожному ряду. У робочому положенні сухарі стикаються з кулачками зовнішньої і внутрішньої зірочок [1]. Остаточною операцією при виготовленні зірочок є – шліфування.

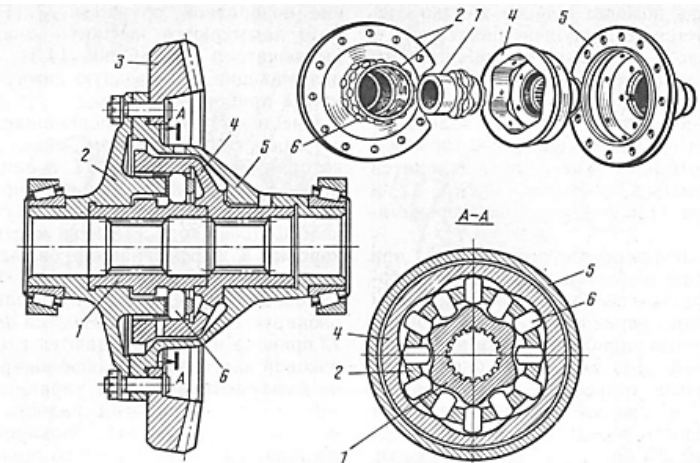


Рис. 1. Кулачковий диференціал підвищеного тертя автомобіля ГАЗ-66

Проблема шліфування внутрішніх складних поверхонь є актуальною в галузі машинобудування. Щоб підвищити продуктивність і якість обробки поверхонь застосовують шліфувальні верстати з системами ЧПУ. Їх використання забезпечує підвищення продуктивності і точності операції внутрішнього фасонного шліфування за рахунок автоматизації процесу формоутворення, автоматичного регулювання режимів обробки, контролю величини зносу шліфувального круга, автоматичного перерахунку координат еквідистанти і т. п.

Сучасні шліфувальні верстати мають систему числового програмного керування як мінімум по одній осі в напрямку зрізання припуску. При підготовці управляючих програм для верстатів з ЧПК широко використовуються САМ-системи, але сучасний ринок САМ-систем вирішує проблематику формоутворення поверхонь деталей машин на верстатах з ЧПК лезової обробки і досі не створено універсальних САМ-систем для абразивного оброблення.

Фірми-виробники шліфувальних верстатів з ЧПК враховуючи специфічні особливості абразивного оброблення, вмонтовують в універсальні стійки САМ-системи власної розробки, які забезпечують проектування управляючих програм для кінематичної схеми даного верстата і заданої номенклатури виробів [1].

Для прикладу розглянемо обробку внутрішньої поверхні деталі (рис. 1) на шліфувальному верстаті фірми Studer.

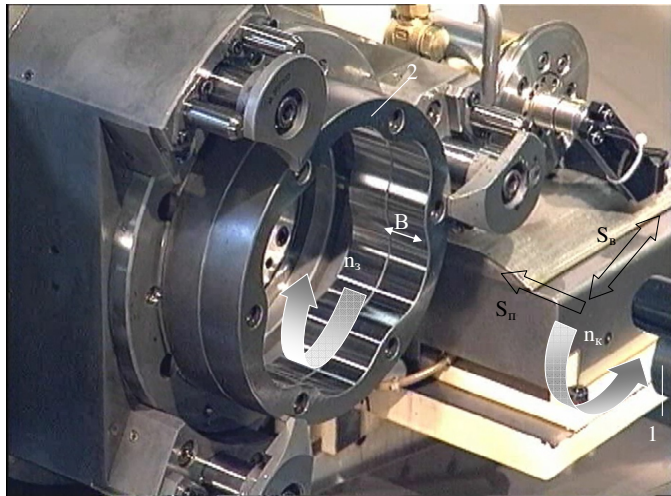


Рис. 2. Схема шліфування деталі

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

Основною задачею управління процесу шліфування складних внутрішніх криволінійних поверхонь є зняття рівномірного об'єму матеріалу за рівні проміжки часу – MRR (material removal rate) = const [3]. Це насамперед надасть можливість:

- стабілізувати процес різання;
- підвищити продуктивність та зменшити основний час обробки.

MRR – розраховується за наступною залежністю, $\text{мм}^3/\text{с}$:

$$MRR = Q \cdot \omega, \quad (1)$$

де ω – подача (рад/с), Q – аналог швидкості знімання припуску шліфувального круга ($\text{мм}^3/\text{рад}$), який розраховується за формулою (2).

$$Q = \frac{1}{2} L_k^2 \quad (2)$$

де L_k – довжина дуги шліфувального круга ($\text{мм}^3/\text{рад}$).

Контур деталі утворений дугами кола, що зображений на рис. 3.

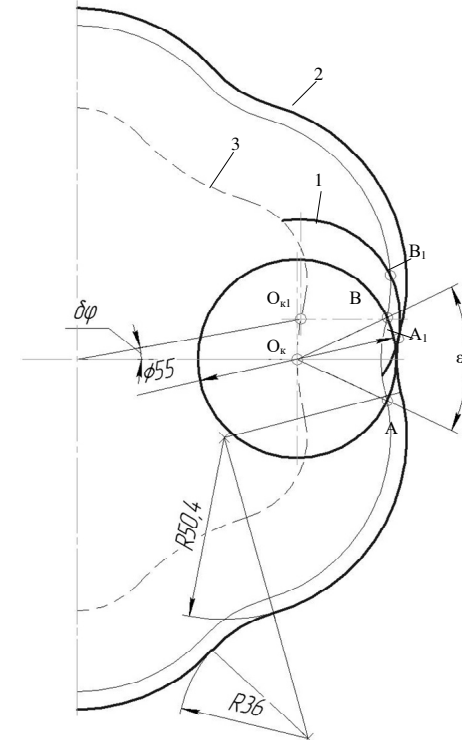


Рис. 3. Схема утворення контуру чашки диференціалу

Попередньо головна характеристика була визначена за допомогою CAD системи «Компас 3-D». За попередніми даними, з використанням пакету Excel, побудований графік відповідної залежності, що представлений на рис. 4.

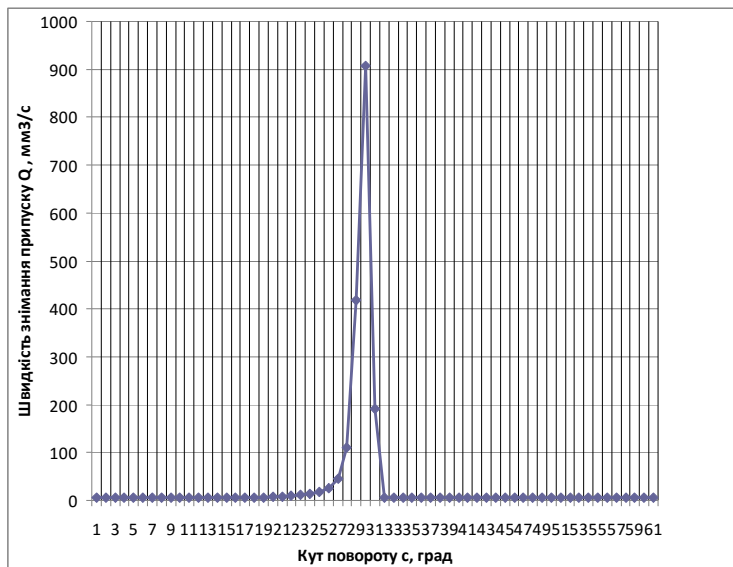


Рис. 4. Графік залежності головної характеристики від кута повороту.

Висновок. Шліфування внутрішніх поверхонь чашки самоблокуючого диференціалу доцільно виконувати на шліфувальному верстаті з ЧПК (наприклад, фірми Studer). При цьому, крім управління поперечною подачею за рекомендаціями фірми, що визначають цикл шліфування, необхідно управляти швидкістю обертання шпинделя деталі з метою стабілізації головної характеристики процесу за кутом повороту. Таке управління може бути реалізоване на шліфувальному верстаті з ЧПК і забезпечить можливість підвищення продуктивності при дотриманні вимог за якістю поверхні деталі.

Список використаних джерел:

1. В.К. Кулик, Ю.В. Петраков Прогрессивные процессы обработки фасонных поверхностей, Киев "Техніка", 1987 – 174с.
2. http://rada.kpi.ua/files/aref_Pusarenko
3. Програмне забезпечення фірми Studer / ВА 0091 216 В/05/Russian, www.studer.com, 334р.
4. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання: Навчальний посібник для студентів, що навчаються за напрямом «Інженерна механіка». – Київ: Політехніка, 2006. –с.190

ЗМІСТ

Андрусь М.Г., Лапач С.М. Нормовані робастні плани на основі ЛП _т чисел.....	3
Артьомов А.О., Лапач С.М. Апроксимація швидкозмінних залежностей...	6
Артьомов А.О., Фролов В.К. Автоматизація обчислень при визначенні жорсткості технологічної обробляючої системи.....	9
Астапович А.С., Войтенко В.І. Моделювання впливу діаметра фрези при торцевому фрезеруванні.....	12
Бевз П.В., Радченко С.Г. Аналіз точності нарізання зовнішніх різьб з використанням дисперсійного аналізу.....	16
Бублій С. Ю., Бецо Ю.М. Розробка конструкції двоплевого повідкового хомутика.....	19
Важкий І., Кореньков В.М. Вирішення задачі двовимірного розкрою матеріалу.....	23
Waiyaki T., Danylova L. Influence of Kinematic of Screwing on Quality Smooth-threaded Connections.....	25
Зелінко А.І., Кореньков В.М. Концепція сенсорного інструменту.....	28
Зильов Н.О., Фролов В.К. Фактори, що впливають на продуктивність процесу шліфування вільним абразивом. Дайджест.....	31
Ільчук М.М., Біланенко В.Г. Проектування операцій безцентрового шліфування.....	34
Казарян Г.А., Данилова Л.Н. Проектування гвинтових поверхонь на деталях машин.....	38
Кобзаренко Д.А., Малафеев Ю.М., Еммер Т. Проблеми обробки точних плоских поверхонь.....	40
Кобзаренко Д.А., Малафеев Ю.М., Карпушевський Б. Дослідний стенд для випробувань прорізаного комбінованого інструменту.....	44
Кобища С.С., Сохань С.В. Профільне шліфування зубчатих коліс.....	46
Козелець В.В., Войтенко В.І. Вплив стійкості різця на собівартість при точінні.....	49
Коноваленко Г.К., Лапач С.М. Робастний симплекс на основі ЛП _т чисел.....	53
Коростильов В. Ю., Бецо Ю.М. Вибір оптимальної ширини периферійного фрезерування.....	57
Костромін С.Е., Медведєв В.В. Автоматизовані керовані транспортні засоби в гнучких виробничих системах.....	61
Крачков В.С., Кореньков В.М. Розробка система моніторингу верстатів з ЧПК.....	65
Крупина Ю.М., Мельник Т.І., Сімута Р.Р. Визначення технічних вимог до шорсткості поверхонь деталі із її 3D моделі.....	67
Мацківський О.С., Петраков Ю.В. Адаптивне управління обробленням на верстатах з ЧПУ.....	71

Мельник-Кагляк Н.О., Сохань С.В. Моделювання геометричних умов контакту інструмента і оброблюваної внутрішньої поверхні оболонки головки кульшового ендопротеза людини.....	74
Мельник-Кагляк Н.О., Сохань С.В. Обґрунтування умов керування процесом шліфування внутрішньої сферичної поверхні оболонки головки кульшового протезу людини.....	77
Міщенко П.О., Задерей О.М. Вибір варіанту базування при обробці станин електродвигунів.....	80
Мухін Р.А., Малафеев Ю.М. Правка шліфувальних кругів алмазним інструментом.....	82
Носков А.О., Войтенко В.І. Вплив стійкості різця на собівартість при точінні.....	86
Пасеніцький В.В., Петраков Ю.В. Різання металів з накладанням ультразвукових коливань.....	90
Підпалий В.І., Писаренко В.В. Визначення оптимального значення подачі при кінцевому фрезеруванні.....	93
Руденко Р.О., Фролов В.К., Лашина Ю.В. Калькулятор для розрахунку параметрів розподілу Гаусса.....	96
Сабибіна О.О., Лапковський С.В. Використання фрез Coromill при виконанні операцій торцевого фрезерування.....	99
Семеренко В.С., Лапач С.М. Застосування нечіткої логіки в машинобудуванні.....	101
Тарамбула В.С., Біланенко В.Г. Проектування операцій оброблення титанових сплавів торцевим фрезеруванням.....	105
Тарамбула В.С., Біланенко В.Г. Вібрації при обробленні титанових сплавів торцевим фрезеруванням.....	109
Тихонов І.В., Лашина Ю.В. Функціонально-вартісний аналіз як метод підвищення якості виробів машинобудування.....	113
Ткач І.І., Кореньков В.М. Синтез багатоваріаційних технологічних процесів.....	117
Тур І.М., Фролов В.К. Визначення похибки базування заготовки в призмі. Загальний випадок.....	120
Чернюшок В.Ю., Малафеев Ю.М. Гідроабразивне різання металу.....	123
Штефан І.М., Тур І.М., Мельник О.О. Інформаційне забезпечення проектування технологічних переходів для оброблення осьовими інструментами.....	127
Шуплецов Д.К., Петраков Ю.В. Управління траєкторією фрезерування на верстатах з ЧПК.....	130
Юрчук А.А., Петраков Ю.В. Шліфування вирубних штампів на верстаті з ЧПК.....	133
Юрчук Ю.А., Петраков Ю.В. Шліфування внутрішньої поверхні зірочки диференціала на верстаті з ЧПК.....	136

Для нотаток

Для нотаток